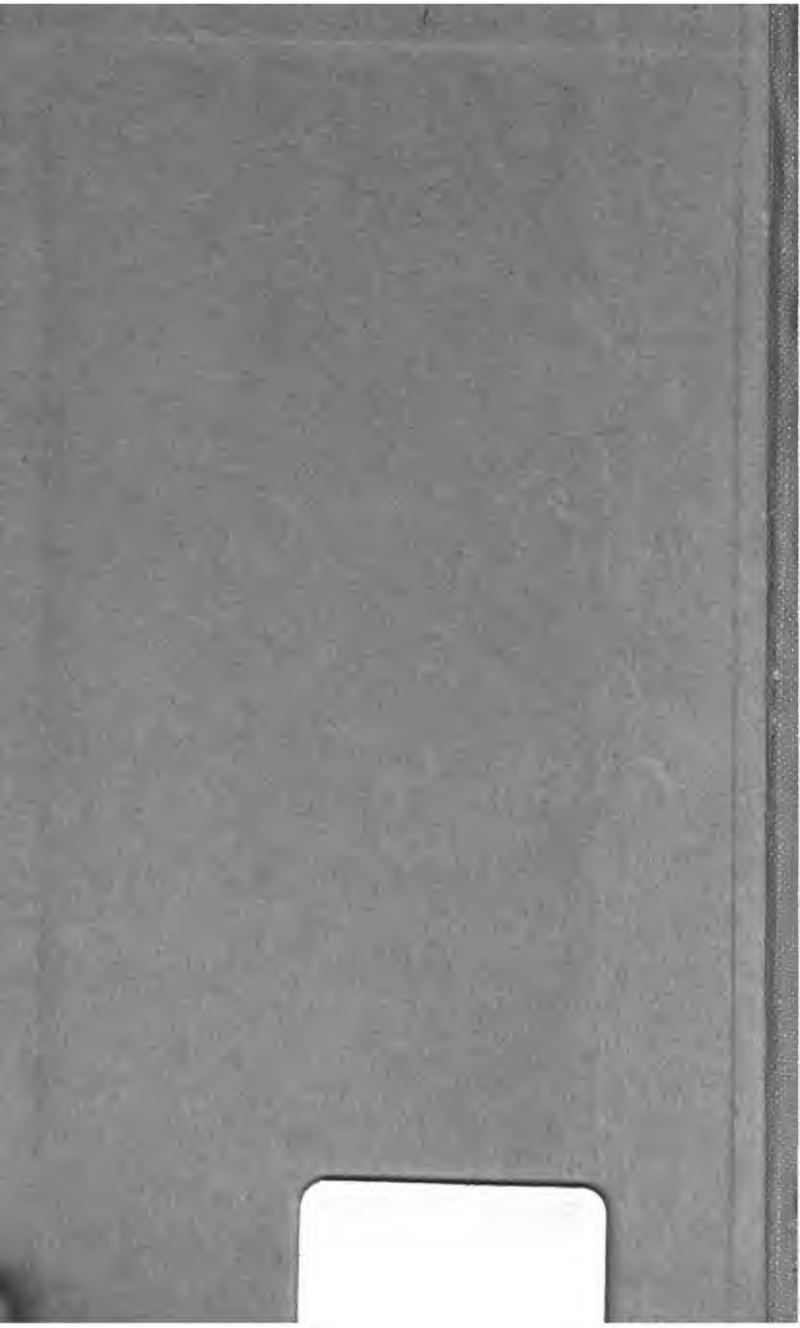






Uebersicht der ersten 66 Bände vom Schauplatz der Künste und Handwerke.

1r Bd. Cupels Conditor 1 Rthl. — 2r Bd. Thons Kunst, Bücher zu binden, 3te Aufl. 1 Rthl. — 3r Bd. Thons Holzbeizkunst und Holzfärberei 1 Rthl. — 4r Bd. Kunst des Seifensiedens und Lichtziehens 16 gGr. — 5r Bd. Stöckels Tischlerkunst 1 Rthl. 12 gGr. — 6r Bd. Vitalis Färbekunst, 2. Aufl. 1 Rthl. 12 gGr. — 7r Bd. Woltersdorfs Kunst des Bäckers 1 Rthl. 18 gGr. — 8r Bd. Schulze's Gold- und Silberarbeiter 1 Rthl. 8 gGr. — 9r Bd. Heyders Kleidermacherkunst 1 Rthl. — 10r Bd. Watins Staffirmaler 1 Rthl. — 11r Bd. Der Schuh- und Stiefelmacher 18 gGr. — 12r Bd. Thons Fleischerhandwerk 16 gGr. — 13r Bd. Huths Kochkunst 20 gGr. — 14r Bd. Thons Lackirkunst 4te Aufl. 2 Rthl. — 15r Bd. Thons Drehkunst 1 Rthl. 12 gGr. — 16r Bd. Der Parfümeur oder Anweisung, alle Arten von Parfüms zu verfertigen 16 gGr. — 17r Bd. Morgensterns Ledergerberei 18 gGr. — 18r Bd. Thons Gebäudemaler u. Decorateur 1 Rthl. — 19r Bd. Wölfers Treppenbau, 2te Aufl. 8 gGr. — 20r Bd. Servière's Bierbrauerei und Bierkellereiwirthschaft 12 gGr. — 21r Bd. Riffaults Handbuch der Färberei 16 gGr. — 22r und 23r Bd. Matthaey's praktisches Handbuch für Maurer u. Steinhauer. 2 Bde. mit schwarzen Kpfrn. 2 Rthl. 18 gGr., mit illuminirten Kpfrn. 5 Rthl. — 24r Bd. Schedels Destillirkunst u. Likörfabrikation, 2te Aufl. 12 gGr. — 25r Bd. Thons Fabrikant bunter Papiere, 2te Aufl. 1 Rthl. — 26r Bd. Matthaey's Stein- u. Dammsetzer 1 Rthl. 8 gGr. — 27r Bd. Schulze's praktischer Unterricht in dem Bau der Reitsättel und Kummte. 18 gGr. — 28r Bd. Wölfers Kalk- und Gypsbrennerei 18 gGr. — 29r Bd. Servière's theoretisch-praktische Lehre von der Cultur ꝛc. der Weine 18 gGr. — 30r Bd. Auchs Handbuch für Landuhrmacher 1 Rthl. 8 gGr. — 31r Bd. Hocks Beschreibung der Nadler-, Drahtzieher-, Kardätschenmacher-, Roth- und Gelbgießerarbeiten 12 gGr. — 32r Bd. J. G. Beumenbergers vollkommener Juwelier 18 gGr. — 33r Bd. Fontenelle's Handbuch der Essig- u. Senfbereitung 20 gGr. — 34r Bd. P. Schallers wohlunterrichteter Ziegler 1 Rthl. 6 gGr. — 35r Bd. G. P. F. Thons wohlunterrichteter Wachsfabrikant u. Wachszieher 1 Rthl. — 36r Bd. Julia Fontenelle's theoretisch-praktisches Handbuch der Oelbereitung u. Oelreinigung 1 Rthl. 6 gGr. — 37r Bd. G. A. Wettengels Geigen- u. Bogenmacherkunst 2 Rthl. 12 gGr. — 38r Bd. C. Pilzeckers Hutmacherkunst 18 gGr. — 39r Bd. F. C. A. Bergmanns Stärke- und Puderfabrikation 18 gGr. — 40r Bd. Peclets Kunst der Gebäude-, Zimmer- u. Straßenerleuchtung 1 Rthl. 12 gGr. — 41r Bd. Leischner's vollkommene Linirkunst 18 gGr. — 42r Bd. Das Haar als Schmuck, od. Handbuch d. Frisirkunst 12 gGr. — 43r Bd. Peschecks Ganze des Steindrucks 16 gGr. — 44r Bd. Haumanns Ganze des Seidenbaues 1 Rthl. — 45r Bd. Der Brunnen-, Röhren-, Pumpen- u. Spritzenmeister u. Bleiarbeiter 1 Rthl. — 46r Bd. Stratingh über Bereitung, Verbindung u. Anwendung des Chlors 1 Rthl. 12 gGr. — 47r—49r Bd. Theoretisch-praktisches Handbuch für Zimmerleute in allen ihren wesentlichen Verrichtungen, 3 Theile von Matthaey 5 Rthl. — 50r Bd. Petri, theoretisch-praktisches Handbuch der Schlosserkunst 1 Rthl. — 51r Bd. Matthaey, der Ofenbaumeister u. Feuermechanist 1 Rthl. 6 gGr. — 52r Bd. Matthaey, Kunst des Bildhauers in allen ihren Theilen 1 Rthl. 12 gGr. — 53r Bd. Lebrun, vollständiges Handbuch für Klempner u. Lampenfabrikanten 1 Rthl. 4 gGr. — 54r Bd. Doct. Th. Thon, Lehrbuch der Kupferstecherkunst, der Kunst in Stahl zu stechen und in Holz zu schneiden 1 Rthl. 12 gGr. — 55r Bd. Doct. Th. Thon, Lehrbuch der Reißkunst 1 Rthl. 12 gGr. — 56r Bd. G. Frick, die Kunst, weißes Steingut mit durchsichtiger Glasur nach Art der Franzosen u. Engländer anzufertigen 2 Rthl. — 57r u. 58r Bd. Vollständiges, theoretisch-praktisches Handbuch der Mühlenbaukunst, von Doct. W. Weinholz 6 Rthl. — 59r Bd. C. F. Leischner, vollständig theoretisch-praktische Anleitung zur geschmackvollen und eleganten Verfertigung aller Arten Papparbeiten. 1 Rthl. — 60r Bd. Thons gründliche u. vollständige Anleitung, alle Arten Meerschaumpfeifenköpfe zu verfertigen. 18 gGr. — 61r Bd. Der vollkommene Dachdecker von C. L. Matthaey. 1 Rthl. 12 gGr. — 63r Bd. Bürck, Handbuch für Juweliere, Goldarbeiter ꝛc. — 64r Bd. Lebrun, Handbuch für Riemer und Sattler. — 66r Bd. Verdam, angewandte Werkzeugswissenschaft und Mechanik. 1r Theil 1 Rthlr. 12 gGr.

Neuer
Schauplatz der Künste und Handwerke.

Mit
Berücksichtigung der neuesten Erfindungen.

Herausgegeben
von
einer Gesellschaft von Künstlern, Technologen und Professionisten.

Mit vielen Abbildungen.



Acht und sechzigster Band.

G. J. Verdam's Grundsätze der angewandten Werkzeugswissenschaft und Mechanik.

Weimar, 1835.
Druck und Verlag von Bernh. Friedr. Voigt.

Grundsätze
der angewandten
Werkzeugswissenschaft und Mechanik
oder
allgemeine Grundregeln, nach welchen alle Gattungen von Werkzeugen und Maschinen nach den Erfordernissen des praktischen Betriebes zusammengesetzt und angewandt werden.

Ein
populäres Hand- und Lehrbuch
für
ausübende Maschinenbaumeister und Gewerbsschulen.

In vier Theilen.

Dritten Theiles
erste und zweite Abtheilung,
Betrachtung der Wirkungen niedersteigender Gewichte und gespannter Federn, um Bewegung mitzutheilen; Angabe der Kräfte von Menschen und Thieren, auf Maschinen ausgeübt; Entwickelung der vornehmsten Grundsätze des Gleichgewichtes und der Bewegung tropfbar flüssiger und elastischer Flüssigkeiten u. s. w.

Von
G. J. Verdam,
vormal. Professor der praktischen Mechanik und Direktor der Schule zu Gravenhage.

Aus dem Holländischen übersetzt
von
Dr. Christ. Heinr. Schmidt.

Mit vier Tafeln in Folio.

Weimar, 1835.
Druck, Verlag und Lithographie von B. Fr. Voigt.

Vorwort.

In diesem dritten Theile sollen durchgegangen werden alle die bewegenden Kräfte, deren man sich gewöhnlich zu bedienen pflegt, um Maschinen in Bewegung zu setzen. Die Wichtigkeit dieses Stoffes, der, so weit es im Vermögen des Verfassers lag, in allen denjenigen Einzelnheiten entwickelt worden ist, deren Kenntniß in der Praxis erfordert wird, gestattete nicht, denselben in allzu enge Grenzen zu zwängen. Was man in der Praxis von den bewegenden Kräften niedersinkender Gewichte und gespannter Federn — von den Kräften der Menschen und Thiere — und von der Art und Weise wissen muß, wie alle diese benutzt werden müssen, um damit Maschinen in Bewegung zu setzen, ist hinlänglich concis und pragmatisch abgehandelt worden; jedoch war es nicht möglich, die Grundsätze des Gleichgewichtes und der Bewegung tropfbarer und

elastischer Flüssigkeiten, so wie eine ausführliche Abhandlung über die Pumpen auf eben so enge Grenzen zu beschränken, ohne daß dieses auf Kosten des guten Verständnisses der Wirkung und Einrichtung der Maschinen geschehen wäre, die vom Wasser, vom Wind und vom Dampf Bewegung empfangen und Bewegung andern Maschinen mittheilen. Ueber diese letztere bewegende Kraft und über die Art und Weise, wie sie zur Bewegung von Maschinen angewendet wird, oder angewendet werden kann, soll deshalb im 4. Theile dieses Werkes gehandelt und zwar der Anfang mit der Entwickelung der Gründe der Wirkung der Einrichtung und der gehörigen Constructionen der Dampfmaschinen gemacht werden.

Inhalt.

Dritten Theiles zweite Abtheilung.

Erstes Kapitel.

Zweites Kapitel.

Drittes Kapitel.

Viertes Kapitel.

Fünftes Kapitel.

Seite

Grundsätze der angewandten Werkzeugswissenschaft.

Dritter Theil.

Einleitung.

Bei Allem, was bis jetzt in diesem Werke abgehandelt wurde, ist stillschweigend vorausgesetzt, daß das richtige Maß der Kraft, welche einem Werkzeuge oder einer Maschine Bewegung mittheilen kann, vollkommen bekannt sey. Hiervon ausgehend, hat sich ergeben, wie die Zunahmen oder die Abnahmen dieses Maßes wegen der Einrichtungsart der Maschine, welche durch die eben genannte Kraft getrieben wird, bestimmt werden kann oder muß. Es ergab sich zugleich, daß es mit keiner Schwierigkeit verbunden ist, bei dem Vorhandenseyn einer Kraft, und wenn man zugleich weiß, welchen Druck und Geschwindigkeit sie mittheilen kann, zu bestimmen:

1) Ob sie eine gegebene Last mit einer verlangten Geschwindigkeit heben kann;

2) Welches die mechanischen Theile seyn müssen, die da bewirken können, daß eine Last in einer gewissen fest bestimmten Richtung entweder stete oder abwechselnd bewegt werde, wie auch die Richtung und die Art der Bewegung der Kraft Statt finden möge;

3) Welche Dimensionen die erwähnten Theile haben müssen, d. h. wie groß sie seyn müssen, um den Druck der Kraft, oder auch ihre Geschwindigkeit nach Willkühr zu vermehren oder zu vermindern.

Um deshalb alle die Grundsätze, nach welchen man Maschinen, wie sichs gebührt, und mit der meisten Genauigkeit zusammensetzen muß, vollständig zu geben, wollen wir uns noch über die Art, über die Wirkung und über die Größe des Vermögens der Kräfte verbreiten, welche für die Bewegung von Maschinen vorhanden sind, oder vorhanden seyn können. Dieses, nebst der Entwickelung der verschiedenen Art und Weise, wie man sich das Vermögen der eben genannten Kräfte zu Nutzen macht, um Maschinen zu bewegen, ist noch abzuhandeln und soll der Gegenstand des gegenwärtigen und des folgenden Theiles dieses Werkes seyn.

Die Anzahl der Kräfte, die zur Bewegung von Maschinen angewendet werden, ist sehr bestimmt, denn man bedient sich nur des drückenden und bewegenden Vermögens niedergehender Gewichte und gespannter Federn, der Kräfte von Menschen und Thieren, so wie derjenigen, welche das drückende und strömende Wasser, der Wind und der Dampf von verschiedenen Flüssigkeiten, doch in specie der Dampf des kochenden Wassers besitzen oder mittheilen können.

Wäre man in jeder Hinsicht mit dem wahren Vermögen aller dieser bewegenden Kräfte bekannt, so würden die praktischen Grundsätze der Mechanik hinlänglich vollkommen seyn; aber dieser Theil der Wissenschaft, welcher zugleich der wichtigste ist, läßt zu seiner Vollendung noch sehr viel zu wünschen übrig. Der größte Theil der erforderlichen Data muß durch Versuche und Erfahrungen ausgemittelt werden, die man bis heute noch nicht bis ins Einzelne verfolgt, oder nach einem hinlänglich großen Maßstabe angestellt hat, so daß man auf die Resultate derselben in der Praxis sich mit voller Sicherheit verlassen könnte, obschon es an Bestrebungen nicht gefehlt hat, um dahin zu gelangen. Gleichwohl haben die Untersuchungen erfahrener Männer sehr viel gelehrt: durch diese Untersuchungen sind die Grundlagen gelegt worden, und sie gewähren denn auch in vielen Hinsichten feste Stützpunkte, auf welche man in der Anwendung seine Entwürfe bauen kann.

Der ganze Stand der Kenntniß, welche wir von dem Vermögen der oben genannten bewegenden Kräfte besitzen, soll, insofern dieses in einem praktischen Lehr- und Handbuche der Werkzeugswissenschaft verlangt werden kann, jetzt entwickelt werden. Die erste Abtheilung dieses dritten Theiles soll kürzlich enthalten, was man in der Praxis wissen muß von den bewegenden Kräften der Gewichte und der Federn, und von den Kräften der Menschen und Thiere; jedoch mit einer größern Ausführlichkeit soll in den zwei folgenden Theilen gehandelt werden über die mechanischen Kräfte des Wassers (oder der Flüssigkeiten im Allgemeinen), des Windes und des Dampfes, so wie über die Maschinen, durch welche das Vermögen dieser Kräfte fortgepflanzt werden kann. Da es gleichwohl zum Ver-

ständnisse dessen, was über die drei letztgenannten bewegenden Kräfte gesagt werden soll, nöthig ist, die Gesetze des Gleichgewichtes und der Bewegung der Flüssigkeiten und der luftartigen oder elastischen Flüssigkeiten zu kennen, so soll eine Abhandlung über diesen Gegenstand, und von dem, was in der Mechanik darauf bezüglich ist, vorausgehen, und also die zweite Abtheilung dieses Theiles ausmachen.

Dritten Theiles erste Abtheilung.

Ueber die bewegenden Kräfte niedersteigender Gewichte und gespannter Federn; über die Kräfte von Menschen und Thieren u. s. w.

Erstes Kapitel.

Ueber das mechanische Kraftvermögen niedersteigender Gewichte; Art und Weise, wie sie einer Maschine eine regelmäßige Bewegung mittheilen können.

---

§. I.

Ueber das Maß der Bewegung, welche man einer bestimmten Last durch ein herabsteigendes Gewicht von gegebener Schwere mittheilen kann.

1) Bevor wir die Bewegung einer Last, entstanden durch ein herabsteigendes Gewicht, in Betrachtung ziehen, wird es nicht unzweckmäßig seyn, die Gesetze der Bewegung frei fallender Körper oder Gewichte, über welche im ersten Theile Art. 35 bis 38 gehandelt ist, kürzlich zu wiederholen.

Die Bewegung eines Körpers oder im Allgemeinen eines Gewichtes, welches durch das Vermö-

gen der Schwerkraft in einer senkrechten Richtung niederfällt, ist keineswegs regelmäßig, aber diese Bewegung nimmt auf eine regelmäßige Weise an Geschwindigkeit stets zu.

Das Gesetz oder die Regel dieser Bewegung ist von der Art, daß

1) Die Geschwindigkeiten gerade proportional den seit dem Anfange der Bewegung verlaufenen Zeiten sind. Die Geschwindigkeit, welche ein Körper am Ende der ersten Sekunde seines Falles besitzt, wollen wir g nennen, so wird die Geschwindigkeit, welche er am Ende der zweiten Sekunde erlangt hat, = 2 g sein; nach Verlauf der dritten Sekunde ist die Geschwindigkeit = 3 g, und so nimmt sie ferner auf dieselbe Weise zu.

2) Daß die Räume, welche durch ein niedersinkendes Gewicht beschrieben werden, zu einander in demselben Verhältnisse stehen, wie die Quadrate oder zweiten Potenzen der verlaufenen Zeiten, oder der erlangten Geschwindigkeiten, so daß umgekehrt, die verlaufenen Zeiten oder die Geschwindigkeiten am Ende dieser Zeiten proportional seyn müssen den Quadratwurzeln aus den Zahlen, welche die Längen der beschriebenen Räume angeben. Durchläuft nun ein Körper in 1 Sekunde einen Raum R, so wird er in 2 Sekunden einen Weg $= 2 \times 2 R = 4 R$ zurücklegen; in 3 Sekunden ist die Länge des Weges $= 3 \times 3 R = 9 R$ rc.

Durch Versuche weiß man, daß ein frei fallender Körper in 1 Sekunde einen Raum von 4,90608 Ellen durchläuft, und die Geschwindigkeit g, welche der Körper am Ende dieses ersten Augenblicks erlangt hat, wird ihn mit einer gleichförmigen Be-

wegung durch den doppelten Raum führen. Diese Geschwindigkeit g ist deshalb = 9,81216 Ellen. Mit Hilfe dieser Zahlen und der oben aufgestellten Gesetze der Bewegung ist man im Stande, alle Umstände der Bewegung eines frei herabsteigenden Gewichtes zu bestimmen, wozu man alsdann auch die Formeln und die Tabelle benutzen kann, welche im 1. Theile Art. 37 mitgetheilt worden sind.

Bei diesem Allen muß man indessen bemerken, daß ein fallender Körper sich durch die Luft hindurch bewegt, welche Widerstand darbietet, da sie jedesmal durch den Körper auf die Seite gedrückt werden muß. Dieser Widerstand nimmt mit der Geschwindigkeit beträchtlich zu und verursacht demnach, daß die durchlaufenen Räume in jedem Zeittheile kleiner werden, als diejenigen, welche nach den vorerwähnten Regeln sich ergeben sollten. Muß das Gewicht seinen Weg durch eine Flüssigkeit, wie das Wasser, nehmen, so wird es einen noch größern Widerstand finden. Ueber diesen Punkt werden wir uns ausführlicher verbreiten, für jetzt aber setzen wir ihn bei Seite.

2) Wenn ein Gewicht nicht frei fällt, sondern in seiner Bewegung behindert wird, so wird dadurch natürlich der Effect der Schwerkraft vermindert, und die Geschwindigkeit der Bewegung muß dann geringer seyn, als diejenige, welche beim freien Fall erzeugt wird. Man nehme z. B. an, daß um eine Seilrolle eine Schnur, an beiden Enden mit einem Gewichte beschwert, hänge; es sei z. B. das eine Gewicht ein niederländisches Pfund = 10 Unzen, und das andere wiege nur 9 Unzen; man bringe die Reibung und die Trägheit der Seilrolle nebst der Schwere der Schnur einmal nicht in Anschlag, so besteht an der einen Seite der Scheibe ein reines Uebergewicht von 1 Unze, durch welches die

10 Unzen niedersinken werden, während die 9 Unzen an der andern Seite der Scheibe oder Rolle aufwärts bewegt werden. Das freie Herabsinken des Gewichtes von 10 Unzen wird deshalb anhaltend behindert durch das Gewicht von 9 Unzen, und die Beschleunigung der Bewegung wird hierdurch ebenfalls vermindert. Es ist jedoch natürlich, daß die Bewegung immer beschleunigend bleibt und zwar auf dieselbe Weise nach demselben Gesetz, welches beim freien Fall eines Gewichtes gültig ist. Das Uebergewicht von 1 Unze bringt hier das Gewicht von 10 Unzen und das Gewicht von 9 Unzen in Bewegung; die ganze Schwere, welche bewegt wird, beträgt deshalb 19 Unzen, und während das Gewicht von 1 Unze im freien Fallen ein Vermögen besitzt, einen Raum von 4.90608 Ellen in 1 Sekunde seines Fallens zu durchlaufen, muß dieses Vermögen nun unter 19 Unzen vertheilt werden, weshalb die Quantität des Sinkens in der ersten Sekunde nur $\frac{1}{19}$ von 4,90608 Ellen, nämlich 0,258215 Ellen betragen wird. Da nun die Bewegung auf dieselbe Weise (obschon in einem geringern Grade) beschleunigt wird, wie beim freien Fallen, so kann man hierdurch berechnen, daß

der Raum durchlaufen in			
	2 Sekunden	. . . . .	1,032820 Ellen
	3 —	betragen müsse	2,323935
	4 —	. . . . .	4,1314
	u. s. w.		u.

Der Effect der Schwerkraft würde andern Verhältnisse vermindert werden, wenn die zwei Gewichte eine andere Beziehung zu einander hätten: die Quantität dieser Verminderung ist jederzeit *gleich der Schwere des Uebergewichtes, dividirt durch die Schwere der beiden Gewichte zusammengenommen.* Um deshalb den

Effect der Schwere bis auf $\frac{1}{1000}$ des Effectes eines frei fallenden Körpers zu bringen, muß man das leichtere Gewicht = 499½ Wigtjes, und das schwerere = 500½ Wigtjes nehmen können. Das Uebergewicht wird hier 1 Wigtje sein; der durchlaufene Raum in der Sekunde = 0,00490608 Ellen = beinahe ½ Zoll; in zwei Minuten, und ohne den Widerstand der Luft, wird der durchlaufene Raum mehr als 70 Ellen betragen, während beim freien Falle dieser Raum weit über 70000 Ellen betragen müßte.

Die allgemeine Formel, welche das Verhältniß zwischen dem verminderten Effecte der Schwerkraft und dem unbehinderten Effecte derselben ausdrückt, ist:

$$\frac{x}{\frac{1}{2}g} = \frac{P - p}{P + p}, \text{ oder } x = \frac{P - p}{P + p} \times \frac{1}{2}g;$$

denn wenn g für die Zahl 9,81216 gesetzt wird (wodurch $\frac{1}{2}g$ den unbehinderten Effect der Schwere = 4,90608 ausdrückt), während P für das schwerste und p für das leichteste Gewicht genommen wird, so muß das Uebergewicht offenbar = $P - p$ seyn, und mit der Summe der Gewichte $P + p$ in das Uebergewicht $P - p$ dividirt, so drückt dann der Quotient das betreffende Verhältniß der Verminde- g aus; und wird diese Quantität mit $\frac{1}{2}g$ mul- icirt, so erhält man deshalb die absolute Quan- x des verminderten Effectes.

Wenn eine Maschine bewegt wird durch ein iedergehendes Gewicht, so kann man diese Einrichtung jederzeit mit derjenigen vergleichen, bei welcher ein Gewicht p durch ein anderes Gewicht P, das etwas schwerer ist, über eine Seilrolle bewegt wird. Dieses Gewicht p ist dann die Quantität der eigentlichen Last, darunter begriffen den Widerstand der Reibung und die Trägheit der Theile der gan-

zen Maschine. Durch obige Folgerungen wird man deshalb im Stande seyn, die Quantität der Bewegung zu finden, welche ein bestimmtes Gewicht P einer bestimmten Last p mittheilen kann, so wie man auch nach denselben Grundsätzen alle Aufgaben lösen kann, welche diese Bewegung, die Dauer derselben u. s. w. betreffen. Um in den Berechnungen die Schwere der niedersteigenden und emporsteigenden Seile nicht in Ansatz bringen zu müssen, muß man diese Schweren an beiden Seiten der Seilrolle durch zwei gleich lange Seile äquilibriren, welche immer bis auf den Boden herabreichen (siehe Theil II., Abth. II., Taf. 4 Fig. 176).

3) Die gewöhnlichste Weise, wie die Bewegung eines Gewichtes einem Werkzeuge mitgetheilt wird, besteht darin, daß man das Seil, die Kette oder die Schnur, an welcher das Gewicht hängt, über eine Seilrolle mit Stiften hänge (in welchem Falle das andere Ende der Schnur mit einem Gegengewichte beschwert wird, nachdem es zuvor noch über eine oder mehrere andere Scheiben geleitet worden ist), oder daß man sie regelmäßig auf einen Haspel oder auf eine sogenannte Trommel sich wickeln läßt, an deren Umfange das freie Ende der Schnur befestigt wird. Die geradlinige Bewegung des niedersteigenden Gewichtes bewirkt deshalb, daß sich die Trommel anhaltend umdreht, so lange die Schnur noch nicht ganz und gar abgelaufen ist, und diese kreisförmige Bewegung kann alsdann ferner durch Räderwerk u. s. w. in solche andere Bewegungen umgewandelt und auf die zu bewegenden Theile in der Art fortgepflanzt werden, wie es mit dem Dienste des Werkzeuges oder der Maschine übereinstimmt. Die in der zweiten Abtheilung des zweiten Theiles beschriebenen Mittel können dazu in jedem Falle angewendet werden.

Statt das Seil, welches um die Trommel geschlagen ist, unmittelbar durch das Gewicht niederzuziehen, kann man dasselbe erst noch über die Scheiben eines Flaschenzuges leiten, von welchem der bewegliche Block durch ein angehängtes Gewicht niederwärts gezogen wird. Damit erreicht man ganz besonders, daß die Last in derselben Zeit einen größern Raum durchläuft, als das Gewicht, oder daß die Zahl der Umgänge der Trommel in einer gegebenen Zeit größer wird, als wenn sie ohne Hilfe von Scheiben unmittelbar durch das Gewicht umgedreht würde, wie dieses aus der Betrachtung der Effecte der Seilrollen bekannt ist.

Wenn der Raum, den das Gewicht durchlaufen kann, gering ist, so kann man dasselbe an einer schiefen Fläche hinabsteigen lassen, deren Höhe dem eben genannten Raume gleich ist. Während das Gewicht die Länge dieser Fläche hinabläuft, wird die Last, die durch dieses Gewicht unmittelbar gezogen wird, einen gleichen Raum durchlaufen, welcher folglich größer seyn muß, als wenn das Gewicht in gerader Richtung den erstgenannten Raum durchsinken würde; die Zeit der Bewegung muß dann auch im Verhältnisse der Länge der schiefen Fläche zu ihrer Höhe länger seyn. Aber diese Einrichtung ist niemals anzupreisen. Was man durch dieselbe ausrichtet, kann immer erlangt werden durch die weit genauere Wirkung von Zahnrädern, welche durch die Trommel getrieben werden.

4) Da die Bewegung eines niedersinkenden Gewichtes beschleunigend ist, und da diese Beschleunigung nach den Berechnungen des Art. 2 immer noch ansehnlich bleibt, wie sehr man den natürlichen Effect der Schwerkraft auch vermindere, so ergibt sich schon von selbst, daß, wenn keine Mittel vorhanden sind, um diese Beschleunigung ganz aufhö-

ren zu lassen, die Anwendung niedersinkender Gewichte zur Bewegung von Maschinen äußerst beschränkt seyn müsse; denn die Maschine müßte auf eine sehr beträchtliche Höhe gestellt werden, um sie nur einige Minuten in Bewegung zu erhalten. Obschon es nun zweckmäßige Mittel gibt, die sogleich angegeben werden sollen, um die Beschleunigung der Bewegung zu beseitigen, so bleibt doch die so eben erwähnte Anwendung der Gewichte als bewegende Kraft noch immer sehr beschränkt. Wenn die Dauer des Ganges der Maschine einigermaßen beträchtlich sein soll, so muß das regelmäßige Hinabsinken des bewegenden Gewichtes beinahe unmerkbar seyn, und wenn auch dieses Hinabsinken von einer ansehnlichen Höhe Statt finden könnte. Hieraus muß alsdann folgen, daß es dadurch schwer wird, sehr geschwinde Bewegungen in der Maschine entstehen zu lassen, obschon dergleichen vielleicht in derselben erforderlich sind.

Kräftige Bewegungen können nun auf diese Weise mit der Maschine nicht ausgeübt werden, und der Hauptzweck einer solchen Maschine kann dann blos der seyn, bei der Anwesenheit eines geringen Widerstandes langsame und höchst regelmäßige Bewegungen zu erzeugen; hierzu kann ein niedergehendes Gewicht ausschließlich gebraucht werden, und die nützliche Anwendung, die man in dieser Hinsicht von dem statischen Momente niedersteigender Gewichte zum Bewegen von Uhrwerken gemacht hat, ist hinlänglich bekannt.

Um eine Maschine, welche großen Widerstand darbietet, in Bewegung zu halten, sind niedersteigende Gewichte schwerlich oder mit keinem Nutzen anzuwenden, denn das Niedersteigen muß mit größerer Geschwindigkeit Statt finden, als im vorhergehenden Falle. Dafür müßte die Fallhöhe alsdann

beträchtlich seyn, wenn die Bewegung von einiger Dauer seyn sollte. Die Größe des niedersteigenden Gewichtes wird dann auch beträchtlich, und diese beiden Umstände würden große und feste Vorrichtungen erfordern, an deren Stelle man viel vortheilhafter andere Maschinen stellen kann, die durch andere Bewegkräfte in Bewegung gesetzt werden. Hierzu kommt noch ein anderer Umstand, welcher dieser Anwendung zum großen Nachtheil gereicht, nämlich daß, da die Gewichte, nachdem sie niedergesunken sind, wieder bis auf die erste Höhe gehoben werden müssen, hierzu mehr Kraft angewendet werden muß, als die niedersinkenden Gewichte in der That ausgeübt haben, und wenn diese Kraft vorhanden ist, so könnte sie auch statt der Gewichte benutzt worden seyn, oder benutzt werden, um die Maschine selbst zu bewegen.

Es gibt jedoch einige Fälle, in welchen man sich der Gewichte vorzugsweise vor andern bewegenden Kräften bedienen kann, um Maschinen zu bewegen; aber der Widerstand der Maschine darf nur mittelmäßig seyn (so z. B. daß dieselbe durch die Kraft eines oder zweier Arbeiter überwunden werden kann); — die Dauer der Bewegung muß kurz seyn (z. B. 1 oder 2 Stunden), weil sonst die Fallhöhen zu groß werden würden und dadurch die eben erwähnten Schwierigkeiten existent werden würden — endlich muß der Dienst der Maschine nur dann und wann geleistet werden, und zwar für solche Zeiten, wo man andere vorhandene Bewegkräfte zur Bewegung der fraglichen Maschine nicht anwenden kann; denn soll die Bewegung anhaltend seyn, so muß auch immer Kraft vorhanden seyn, um die niedergesunkenen Gewichte wieder auf die erste Höhe zu heben, und die ganze Einrichtung wird dann

wenig oder keinen Vortheil bringen. Man hat auf diese Weise die Kraft niedersteigender Gewichte benutzt, um Butterfässer von drehender, so wie solche von auf- und niedergehender Bewegung zu bewegen, Handgetreidemühlen zu treiben u. s. w., denn diese Maschinen befinden sich in dem so eben erwähnten Falle.

Da die Quantität der Bewegung eines niedersteigenden Gewichtes im Verhältnisse des Quadrates der Geschwindigkeit zunimmt, so muß, um diese Beschleunigung der Bewegung zu beseitigen, ein Widerstand vorhanden seyn, welcher ebenfalls mit dem Quadrate der Geschwindigkeit zugleich anwächst. Ziemlich genau einen solchen Widerstand erfährt z. B. ein ebener Körper, welcher durch die Luft, oder durch das Wasser u. s. w. bewegt wird, wenigstens mag man es als ein mittleres Resultat aus Versuchen betrachten, daß, wenn zwei Oberflächen mit verschiedenen Geschwindigkeiten in gerader Linie (d. h. nicht schräg) durch eine Flüssigkeit bewegt werden, die Widerstände, welche sie erfahren, proportional seyn sollen dem Inhalte dieser Oberflächen und den zweiten Potenzen derjenigen Zahlen, welche ihre Geschwindigkeiten ausdrücken. Kennt man deshalb den Widerstand, den eine gewisse, mit bestimmter Geschwindigkeit durch eine Flüssigkeit bewegte Oberfläche erfährt, so ergibt sich aus diesem Verhältnisse der Widerstand, den eine andere Oberfläche erfährt, welche rechtwinkelig durch dieselbe Flüssigkeit und mit einer andern Geschwindigkeit bewegt wird; oder sie kann dazu dienen, die Geschwindigkeit der Bewegung und die Größe der Oberfläche zu bestimmen, die erforderlich sind, um einen bestimmten Widerstand zu erfahren.

Der Widerstand irgend einer Flüssigkeit, z. B. derjenige der Luft, von welcher alle Körper auf der Oberfläche der Erde umgeben sind, scheint also ein natürliches Mittel zu seyn, der Beschleunigung der Bewegung eines niedersteigenden Gewichtes zu begegnen, die Bewegung deshalb gleichförmig und für die Uebertragung auf eine Maschine tauglich zu machen.

Man hat dieses Mittel auch nicht unversucht gelassen.

Am einfachsten würde es seyn, dem niedersteigenden Gewichte ein großes Bret oder eine große Oberfläche zu geben, welche, wenn sie gegen die Luft bewegt wird, der Zunahme der Geschwindigkeit entgegenwirken muß. Häufig würde dieses große Umstände erheischen und dann nur auf eine sehr mangelhafte Weise dem Zweck entsprechen, wenn das Gewicht langsam niedergeht, wie es immer der Fall ist. Besser erreicht man den Zweck, wenn man der Maschine selbst einen Luftfang gibt (dessen Einrichtung im 2. Theile, 2. Abth. beschrieben und auf Taf. 4 Fig. 173 dargestellt ist) und diesem mit Hilfe von Räderwerk, oder Schnurscheiben eine viel größere Umdrehungsgeschwindigkeit, als diejenige, mit welcher das die Bewegung erzeugende Gewicht niedersteigt; man hat dann keine großen Widerstand erzeugenden Oberflächen nöthig, weil der Widerstand mit der Geschwindigkeit viel mehr zunimmt, als mit der Vergrößerung der Oberfläche. Wenn man die Geschwindigkeit des Luftfanges bestimmt hat, so sind keine besondern Berechnungen erforderlich, um die Größe der Fittige des Luftfanges zu bestimmen. Dieses geschieht besser durch Versuche, und wenn die Fittige um Zapfen drehbar sind, so kann man sie unter einen solchen Winkel stellen, daß das Maß des Widerstandes gleich wird der Quantität der

Wirkung, welche aus der Beschleunigung der Bewegung entsteht.

An Maschinen oder Werkzeugen, wie z. B. an Butterfässern mit auf- und niedergehender Bewegung wird ein Luftfang ausreichende Dienste leisten; wird aber eine sehr genaue Bewegung in der Maschine verlangt, wie es in Uhrwerken der Fall ist, so ist ein Luftfang immer ein sehr mangelhaftes Mittel, weil es sehr schwer hält, der Beschleunigung auf diese Weise mit mathematischer Genauigkeit zu begegnen.

Ein anderes Mittel, die Beschleunigung der Bewegung zu verhindern, gründet sich auf den folgenden Satz von der Trägheit der Körper: wenn ein Körper in Bewegung gebracht ist durch eine Kraft, deren Druckvermögen gerade erforderlich ist, um den Widerstand dieses Körpers, dessen Trägheit, die bestehenden Reibungen u. s. w. zu überwinden, so wird dieser Körper, ohne daß die Kraft ein größeres statisches Moment besitzt, in der Bewegung regelmäßig ausharren, wenn keine fremden Behinderungen dieser Bewegung entgegenstehen.

Gesetzt nun, man habe bestimmt, welches Gewicht nöthig sey, um in einer Maschine Gleichgewicht herzustellen mit der Last und mit den Widerständen der Reibung, der Trägheit und derjenigen der Luft (und zur Bestimmung dieser beiden letzten Widerstände ist der Versuch der kürzeste Weg), und man habe dem genannten Gewicht ein bestimmtes Uebergewicht beigegeben, um die Bewegung hervorzurufen; diese Bewegung soll an Geschwindigkeit stets zunehmen; schleunig soll die Geschwindigkeit derjenigen gleich werden, welche absolut erforderlich ist, und wenn man alsdann das hinzugefügte Ueber-

gewicht wieder wegnimmt, so wird die Bewegung gleichförmig mit der zuletzt erlangten Geschwindigkeit fortdauern.

Es ist sehr leicht, das genannte Uebergewicht auf eine mechanische Weise von dem andern Gewichte abzusondern, und zwar in dem Augenblicke, wo dieses gerade erfordert wird. Man lasse nämlich das zur Herstellung des Gleichgewichtes bestimmte Gewicht zwischen zwei Leitpfosten herabsteigen, lasse das Uebergewicht bestehen aus einem oder aus zwei geraden Stäben und befestige an den Leitungspfosten in der Höhe, wo das Uebergewicht außer Wirkung gebracht werden soll, zwei Krampen, gegen welche die Stäbe anstoßen und auf welchen sie deshalb abgesondert von dem andern Gewicht liegen bleiben, so bald das ganze Gewicht bis an die Krampen herabgesunken ist.

Noch einfacher kann man zu Werke gehen, wenn man das Uebergewicht mit einer Schnur an einem festen Punkte über der Maschine verbindet und diese Schnur so lang macht, daß dieselbe lothrecht oder gerade niederhängt, wenn das Gewicht so weit niedergestiegen ist, daß das Uebergewicht von ihm geschieden werden muß, um der Maschine die erforderliche Geschwindigkeit regelmäßig mitzutheilen. Alsdann wird das Uebergewicht in dieser Höhe an der Schnur hängen bleiben, während das andere Gewicht fortfährt, herabzusteigen.

Kennt man nach Art. 2 das Maß der Statt findenden beschleunigenden Bewegung, so kann man auch leicht berechnen, bis zu welchem Punkte das Herabsteigen gehen muß, damit die für die Maschine erforderliche Geschwindigkeit Statt finde.

Was hier verlangt wird, kann man auch erreichen, wenn man einen Theil des Haspels oder der Trommel, von welcher das Thau des bewegenden

Gewichtes abläuft, kegelförmig macht, so daß, wenn das Abwinden des dickern Endes beginnt, der Hebelarm des Gewichtes sich nach und nach bis auf den cylindrischen Theil vermindert, dessen Dicke alsdann so beschaffen seyn muß, daß das bewegende Gewicht am Umfange dieses Theiles allein die Statt findenden Widerstände äquilibrirt und kein Uebergewicht besitzt, aber mit der früher erlangten Geschwindigkeit an den längern Hebelarmen regelmäßig in der Bewegung ausdauert. Diese Einrichtung ist jedoch nicht so einfach als die vorhergehende.

Im Allgemeinen muß hinsichtlich des eben erklärten Mittels bemerkt werden, daß es allein für den Fall anzuwenden ist, wo das Herabsinken des bewegenden Gewichtes nicht unmerklich und also von keiner langen Dauer ist, oder daß für die nicht lange Zeit der Bewegung kein höchst regelmäßiger Gang der Maschine erfordert wird. Denn die Widerstände während der Bewegung einer Maschine sind nicht immer unveränderlich dieselben, sondern können durch Ungenauigkeit in der Verfertigung, durch irgend eine Zufälligkeit u. s. w. Veränderung erleiden, wodurch dann auch nothwendig eine Beschleunigung oder Verzögerung, sogar auch eine Vernichtung der Bewegung entstehen kann und muß. Da nun sowohl Last, als Kraft hier in einem vollkommenen Gleichgewichte (das häufig nur schwierig erlangt wird) stehen und beständig darin bleiben müssen, so kann der verlangte Effect Statt finden.

6) Das vollkommenste Mittel, um die Beschleunigung der Bewegung einer Maschine zu verhüten, wenn dieselbe durch Gewichte getrieben wird, ist dasjenige, dessen man sich bedient, um den Gang von Uhrwerken zu reguliren, und welches auch mit Nutzen bei andern Maschinen angewendet werden kann. Dasselbe beruht auf der Wirkung eines ge-

wöhnlichen Pendels oder einer Unruhe (aus einem horizontalen oder vertikalen Rade, oder auch wohl aus einem gewöhnlichen Windflügel bestehend mit linsenförmigen Speichen, und manchmal an den Enden mit linsenförmigen Kugeln versehen), nämlich: daß, wenn diese Werkzeuge in kleinen Bogen hin- und herschwanken, die Zeiten dieser Schwankungen gleich seyn müssen. Der Widerstand der Luft, die Reibung, die größere oder geringere Extension der Schwingungsbogen und die Verlängerung oder Verkürzung, welche die Theile dieser Werkzeuge durch die verschiedenen Grade von Kälte oder Wärme erfahren, können eben so viele Behinderungen oder Ursachen seyn, um die Dauer der genannten Schwingungen ungleich zu machen; aber die Kunst hat Mittel geschaffen, durch welche man die bestehenden Schwierigkeiten besiegt hat, so daß die oben erwähnte Eigenschaft mit einer großen Genauigkeit Statt finden kann, wenn die Verfertigung der Theile des Werkzeuges mit der größten Sorgfalt und Schärfe betrieben worden ist.

Dieses voraussetzend wollen wir mehrerer Deutlichkeit halber die Bewegung eines Uhrwerkes als Beispiel behalten und annehmen, daß die Bewegung der Trommel regelmäßig sey, und daß eines der Räder in einer Stunde gerade einen Umlauf vollbringe. Wenn dann das letzte vorhandene Rad der Maschine dergestalt auf eine Welle wirkt, daß letztere 120mal in 1 Stunde umläuft, und daß an diese Welle ein Rad A Fig. 1 gesteckt werde, welches 30 scharfe Zähne von der in der Figur angegebenen Form besitzt, so müssen in 1 Stunde $30 \times 120 = 3600$ Bogen a b am Umfange zurückgelegt werden, von denen jeder dem Abstande der Zähne gleich ist, und jeder Zahn beschreibt deshalb

in 1 Sekunde diesen Bogen a b (denn 1″ = $\frac{1}{3600}$ einer Stunde).

Hieraus folgt deshalb, daß die Bewegung der ganzen Maschine regelmäßig werden müsse, wenn man durch ein Mittel bewirken kann, daß jeder Zahn des Rades A in 1″ denselben Weg a b beschreibt. Es ist natürlich, daß für diesen Zweck die Bewegung des Rades A in jeder Sekunde regelmäßig behindert werden müsse, denn ohne eine solche Behinderung würde diese Bewegung stets beschleunigt werden, da das bewegende Gewicht alsdann eine beschleunigende Bewegung bekommen würde.

Ein Pendel von 0,994 Ellen Länge, welches in 1″ eine Schwingung vollendet, würde unter andern zur Erreichung des erwähnten Zweckes benutzt werden können. Ueber dem Rade A Fig. 1 Nr. 1 und 2 liegt eine horizontale Welle B, welche sich um zwei Zapfen c d dreht; an dieser Welle hängt eine kurze Stange F E, welche bei E die Gestalt einer Gabel hat, um mit derselben ein Sekundenpendel C E D zu umfassen. Wenn dieses Pendel um den Punkt C hin- und herschwingt, so theilt es diese Bewegung der Gabel mit, und eben so auch der Welle B, welche dadurch eine abwechselnde Bewegung empfängt, oder um ihre Zapfen sich hin- und herdreht.

Mit derselben Welle B Fig. 1 Nr. 1 ist ein Anker, eine Klaue oder ein Haken B G H I verbunden, welcher zwei kreisförmige Arme G H und G I, aus dem Mittelpunkte M beschrieben, besitzt, die in zwei einwärts gerichtete Haken oder Löffel I K und H L auslaufen; die Seiten dieser Löffel sind Theile von aus dem Mittelpunkte der Umdrehung B beschriebenen Kreisbogen. Diese Löffel haben ferner solche Dimension und Richtung, daß sie zwischen

den Zähnen des Rades A (welches das **Steigrad** heißt) sich frei bewegen können.

Wenn nun das Pendel in Bewegung ist, so werden die Löffel IK und LH des Hakens abwechselnd in die Zähne des Steigrades ein- und austreten; inzwischen dreht sich das Steigrad durch die Wirkung des bewegenden Gewichtes, aber diese Bewegung wird behindert, wenn z. B. IK zwischen den Zähnen p und q bis an die Felge des Rades gekommen ist und alsdann zurückschwingt; denn alsdann kommt der Zahn a in Berührung mit dem kreisförmigen Theile a e des Löffels, wird von demselben festgehalten und kann nicht eher entschlüpfen, bis der Löffel IK aus den Zähnen herausgetreten ist. Alsdann kann der Zahn a, der Wirkung der bewegenden Kraft gehorchend, fortschreiten; jedoch während des Fortschreitens kommt auf der andern Seite der Löffel LH zwischen die Zähne r und s, und hemmt bei seiner Rückkehr den Zahn s auf dieselbe Weise, wie der Zahn a durch den Löffel IK in seiner drehenden Bewegung gehindert wurde.

Man begreift, daß auf diese Weise nur ein Zahn in 1 Sekunde an den Löffeln vorübergehen kann; in jeder Sekunde kann dann nur ein Weg zurückgelegt werden, welcher der Entfernung a b der Zähne gleich ist. Die Bewegung wird auf diese Weise durch die regelmäßige Behinderung der beschleunigenden Kraft, welche die Bewegung der Maschine verursacht, regelmäßig werden; dieses setzt aber voraus, daß die Bewegung des Pendels anhaltend und regelmäßig Statt finde. Damit aber diese Bewegung nicht ganz erlösche, haben die Enden der Löffel IK und LH bei K und bei L eine abgeschrägte Form, um an diesen Stellen von der Form der Kreisbogen e a und s H abzuweichen.

So bald die Löffel so weit aus den Zähnen getreten sind, daß der Anfang dieser schrägen Enden an die spitzigen Enden der Zähne gelangt ist, hört die Berührung dieser Enden mit den Kreisbogen a e oder s H auf; der Zahn kann sinken und muß nun nothwendig an den abgeschrägten Löffelenden anstoßen oder schleifen, so daß das Entschlüpfen Statt finden kann, und diese unaufhörlichen kleinen Stöße, welche jede Sekunde Statt finden, theilen dem Haken G B zugleich denselben Grad von Bewegung mit, welche bei einer vorigen Schwingung durch Reibung u. s. w. vernichtet worden war; die Gabel E F Fig. 1 Nr. 2 erhält denselben Impuls und pflanzt denselben dann wieder auf das Pendel C E D fort. Die Bewegung des Steigrades unterhält deshalb die Bewegung des Pendels, und indem die gleichförmigen Schwingungen dieses letztern auf das Steigrad zurückwirken, nämlich mit Hilfe des Hakens, so reguliren sie den Gang dieses Rades und verhüten die Beschleunigung der Bewegung der ganzen Maschine.

Würde man eine Unruhe statt eines Pendels anwenden, so würde dennoch der Effect immer derselbe bleiben. Dieser endliche Effect verändert sich auch nicht, oder ist vielmehr immer derselbe, unter welcher Form das Steigrad und der Haken auch vorkommen mögen. Dieser Formen gibt es vielerlei, aber sie können hier in diesem Lehrbuche allgemeiner Grundsätze nicht vorgetragen werden, indem sie ganz speciell der Einrichtung besonderer Arten von Uhrwerken angehören, deren Beschreibung und Beurtheilung nichts weniger als mit kurzen Worten abgemacht werden kann.

Bei der Anwendung eines Pendels oder einer Unruhe, um die Bewegung einer Maschine zu reguliren, ist man keineswegs an das Maß der Pendel

gebunden, bei welchem sie gerade in der Sekunde eine Schwingung vollenden; aber man muß doch immer wissen, oder bestimmen, wie groß die Anzahl der Schwingungen ist, welche in einer bestimmten Zeit, z. B. in 1 Minute gemacht werden, um darnach die Zahl der Zähne des Steigrades bestimmen zu können. Ferner muß das bewegende Gewicht nur ein solches Uebermaß haben, daß die Stöße oder Drucke der Zähne des Steigrades auf die Löffel des Hakens nicht so groß werden, daß das Pendel oder die Unruhe große Bogen beschreiben; wenn die Länge dieser Bogen $\frac{1}{7}$ oder $\frac{1}{8}$ der Länge eines Pendels beträgt, so ist sie groß genug. Kennt man diese Länge nebst der Größe des Hakens, so findet man auch sehr leicht die Größe und die Lage der Bogen, welche die Löffel beschreiben. Die Tiefe oder die Länge der Zähne des Steigrades zu bestimmen, ist alsdann auch mit keiner Schwierigkeit verbunden.

Zweites Kapitel.

Betrachtung der Eigenschaften der Federn; Anweisung über den Gebrauch derselben in Maschinen, besonders um Bewegung mitzutheilen.

---

§. I.

Eigenschaften der sogenannten Federn; Verhältnisse zwischen ihrer Federkraft und dem statischen Moment, welches auf dieselben ausgeübt oder durch sie ausgeübt werden kann.

7) Einen Körper nennt man federnd oder elastisch, wenn er durch irgend eine Kraft zusammen=

gedrückt, ausgedehnt oder um einen festen Punkt gebogen, von selbst (d. h. wegen seiner Federkraft) wieder zur vorigen Gestalt zurückkehrt, oder seinen ersten Stand wieder einnimmt, so bald die genannte Kraft aufhört, ihn zu drücken. Man wendet diese Kraft in Maschinen und bei verschiedenen mechanischen Verfahrungsarten mit großem Nutzen an.

Jeder Körper besitzt Federkraft, jedoch sind die Grade der Federkraft bei verschiedenen Arten von Körpern sehr verschieden. Die Metalle und vorzüglich der gehärtete Stahl besitzen, wenn sie zu dünnen Blättern oder Streifen geschmiedet oder gehämmert sind, einen sehr großen Grad der Federkraft. Bekannt ist auch die Federkraft der Saiten, Schnuren und Seile, so daß sie, ohne zu zerreißen, stark gedehnt und gedreht werden können. Das zähe Holz, wie z. B. das Eschenholz, ist auch sehr elastisch u. s. w. Alle diese erwähnten Substanzen wendet man in der Mechanik an, um von ihrer Federkraft einen nützlichen Gebrauch zu machen. Metalle, wie z. B. das geschmiedete Eisen, das Kupfer, das Eisenblech, der gehärtete Stahl, wie auch das Holz werden hierzu am meisten gebraucht. Unter der Form, welche sie für diesen Zweck bekommen, werden sie zu eigentlichen Werkzeugen, die den besondern Namen Federn führen. Federn von gutem, gehärtetem Stahl sind am biegsamsten und dauerhaftesten, und also in den meisten Fällen den Federn von einem andern Metalle oder von Holz vorzuziehen.

Die größere Federkraft gibt sich häufig durch die größere Biegsamkeit oder Dehnbarkeit zu erkennen, und diese sind in metallenen Federn verschieden, je nachdem die Feder anders verfertigt oder auch wohl zubereitet ist, und je nachdem sie eine

größere Dicke hat. So viel ist wenigstens begreiflich, daß, wenn die Form einer stählernen Feder anders ist, und wenn sie auf verschiedene Weise, oder auch mit größerer oder geringerer Sorgfalt gehärtet wird, daß alsdann ihre Federkraft ganz verschieden ausfallen müsse. Es ist auch nicht möglich, daß die Federkraft in allen Punkten oder Theilen der Feder vollkommen dieselbe sey, so daß dieses Werkzeug auf verschiedenen Punkten, wo die Dicke dieselbe ist, verschiedene Grade von Elasticität besitzen wird. Hat die Feder eine größere Dicke, so wird sie auch weniger biegsam, so daß man dieselbe gewöhnlich so dünn macht, als einigermaßen möglich ist, um von ihrer Federkraft den größten Effect erlangen zu können; auch ist man schon um deswillen genöthigt, eine Feder dünn zu machen, da die Schwierigkeit, dieselbe gehörig zu härten, mit der Dicke um sehr Vieles zunimmt. Eine Feder hat meistentheils die Gestalt eines Blattes oder eines Bandes A B Fig. 2; ist sie nun überall von gleicher Dicke, so kann ihre Federkraft auf allen Punkten beinahe dieselbe seyn; aber diese Dicke braucht im Verhältnisse zur Stärke, welche die Feder besitzen soll, nicht überall dieselbe zu seyn; sie ist allein erforderlich an dem Punkte A, wo die Feder einen festen Unterstützungspunkt hat, um welchen sie gebogen werden kann; und von diesem Punkte A bis zum freien Ende B kann die Dicke unmerklich bis auf $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{3}$ abnehmen. Die Federkraft am freien Ende B wird dann durch diese Verminderung der Dicke vermehrt, und dieses ist in der Praxis von großem Belang, da eine Feder von gleichförmiger Dicke am freien Ende keine größere Tragkraft haben, sondern im Gegentheil weniger biegsam seyn soll, als eine Feder, deren Dicke unmerklich abnimmt. Man verliere dabei jedoch nicht aus dem Auge, daß

bei dieser Form die Elasticität der Feder nicht mehr auf allen Punkten gleich ist, sondern im Verhältnisse der Dicke abnimmt, so daß man annehmen kann, diese Federkraft oder Elasticität verhalte sich umgekehrt, wie die Dicke.

Auf alle gehärteten, besonders auf die verstählten Federn hat eine Abwechselung von Wärme und Kälte, der sie ausgesetzt sind, großen Einfluß. Wird eine stählerne Feder im Feuer geglüht, so besitzt sie bei einer langsamen Verkühlung beinahe keine Federkraft mehr, auch nimmt die Federkraft einer nochmals geglühten Feder ab, obschon sie gleich darauf in einer kalten Flüssigkeit abgelöscht worden ist. Eben so wirken auch geringere Grade von Wärme und Kälte auf die Feder; ihre Elasticität wird sich beinahe gleich bleiben, wenn sie einem niedrigen Grad von Wärme ausgesetzt bleibt; wird aber dieser Grad beträchtlich, oder ist die Abwechselung von Wärme und Kälte an der Feder zu groß, zu plötzlich und zu mannichfaltig, so wird sie zugleich sehr geschwächt und kann folglich wenig, oder nur auf kurze Zeit dazu beitragen, denselben Effect gleichförmig zu erhalten.

Die Kraft einer Feder nimmt auch ab, wenn man dieselbe lange Zeit und stark gespannt erhält, oder wenn sie häufig stark gespannt und plötzlich ausgebreitet wird; dieses muß selbst Statt finden bei mäßigem Spannen, und jede Feder verliert deshalb sowohl durch den Gebrauch, als durch die Veränderungen von Wärme und Kälte, denen sie ausgesetzt ist, viel von ihrer ursprünglichen Kraft. Es ist von Belang, diese Folge in der Praxis stets zu berücksichtigen und deshalb jeder Feder sowohl durch die Art ihrer Verfertigung, als durch ihre Form ein gewisses Uebermaß von Elasticität zu verleihen.

8) Eine Feder, gleich einem stählernen Blatt oder Band Fig. 2, muß, um in einem Werkzeuge Effect hervorbringen zu können, um einen oder um zwei feste Punkte gedreht oder gebogen werden können. Besteht aber nur ein Beugepunkt, wie in Fig. 2, so wirkt die Feder mit dem freien Ende B; läßt sie sich um zwei Punkte a und b Fig. 3 biegen, so findet der Effect in der Mitte C Statt. Dieser Effect besteht in beiden Fällen darin, daß sie mit einer gleichen Kraft zurückwirkt und sich also wieder abzuspannen strebt, wenn sie durch eine gewisse Kraft umgebogen, oder wie man dieses nennt, gespannt worden ist. Die Feder übt also, wenn sie gespannt ist, einen Druck aus und kann deshalb statt einer Kraft benutzt werden, um eine Last zu tragen, oder den erwähnten Druck gegen einen Körper auszuüben. Ist der Widerstand geringer, als der Druck, den sie ausübt, so kann sie den Zustand der Spannung verlassen, den Widerstand überwinden und auf diese Weise ein Mittel werden, um Bewegung mitzutheilen.

Wie eine Feder, je nach dem Stoffe, aus welchem sie besteht, eingerichtet oder angebracht seyn kann, oder unter welcher Form sie in Maschinen vorkommt, um die eben erwähnten Leistungen gewähren zu können, soll in dem folgenden §. kürzlich angegeben werden. Zuvor jedoch muß der Leser eine bestimmtere Kenntniß von der Kraft haben, welche erforderlich ist, um einer Feder einen bestimmten Grad von Spannung zu geben, und auf der andern Seite von der Kraft, welche durch eine Feder bei einem bestimmten Grade der Spannung ausgeübt werden kann. Unsere Kenntniß hinsichtlich dieses Umstandes ist keineswegs vollkommen, und die folgenden Sätze werden also die Wahrheit der Sache um so besser ausdrücken, je nachdem die

Feder (die wir uns größerer Deutlichkeit halber als ein stählernes Band denken wollen) in allen ihren Punkten eine gleichmäßigere und größere Elasticität besitzt, und je nachdem sie überall eine gleichförmigere Dicke hat, denn diese beiden Voraussetzungen finden keineswegs in der Praxis jederzeit Statt.

9) a) Die Kraft, welche von einer Feder ausgeübt werden kann, nimmt im geraden Verhältnisse mit der Breite der Feder zu. Wenn nun eine Feder von z. B. zwei Zoll Breite gegen ein Hinderniß A gespannt war, und dieses Hinderniß A Fig. 4 mit einer Kraft, die dem Druck von zwei Pfunden gleich ist, drückte, so wird dieser Druck vier Pfund ausmachen, so bald die Breite der Feder am freien Ende bis auf 4 Zoll vermehrt wird und zugleich dann auch mit dieser Breite gegen das Hinderniß drückt. Dieses kommt aber auf eins hinaus mit dem Satze: Wenn eine Feder von sechs Zoll Breite um den Punkt B durch eine Kraft P gebogen wird, diese senkrecht auf das freie Ende A in der Richtung a b wirkt, und wenn die Quantität der Biegung einen Bogen a c beträgt; so wird eine Vermehrung in der Breite der Feder auch eine verhältnißmäßige Vergrößerung der Kraft P erfordern, damit sich die Quantität der Biegung a c nicht verändere.

In Bezug auf Federn, welche gleich denen in Fig. 3 sich um beide Enden biegen können, gilt dieselbe Bemerkung.

b) Die Federkraft einer Feder nimmt im umgekehrten Verhältniß ihrer Dicke zu, d. h. die Biegungen, welche eine Feder erfahren kann, werden um so größer seyn, je geringer die Dicke wird, wobei übrigens vorausgesetzt ist,

daß die Kraft, durch welche die Feder gespannt wird, nicht größer sey, als mit der Stärke der Feder verträglich ist. Diese Kraft, welche der Tragkraft der Feder gleich steht, läßt sich durch die Formeln, welche im 1. Theile, Art. 150 bis 160 an die Hand gegeben sind, berechnen, wenn man durch Versuche gefunden hat, welches das größte Gewicht (k) ist, welches von der Substanz der Feder (Stahl, Kupfer rc.) in der Richtung der Länge getragen werden kann, ohne daß die natürliche Elasticität der Theile dadurch gestört wird (für alle Substanzen, besonders für den geschmiedeten Stahl ist dieses Gewicht an der citirten Stelle im 1. Theile nicht angegeben worden, da es dem Verfasser nicht aus genügenden Versuchen bekannt war). Die Biegung, welche eine Feder durch einen solchen Druck erfährt, kann mit durch die Formeln der 3. Abth. des 1. Theiles berechnet werden, so bald man für jeden Stoff die Quantität der größtmöglichen Ausdehnung (u) kennt.

Nimmt die Feder vom Beugungspunkte bis zum Punkte, wo sie wirken soll, unmerklich an Dicke ab, so erfährt die Biegung am freien Ende eine Veränderung, welche für Federn von gleichförmiger Elasticität mit berechnet werden kann. Hat man z. B. gefunden, daß diese Biegung für eine gewisse Feder von gleichförmiger Dicke $d = 3$ Zoll ist, so wird sie für eine Feder von derselben Länge und Breite, deren Dicke am freien Ende aber nur $\frac{1}{2}$ der Dicke d am Biegungspunkte beträgt, 5 Zoll ausmachen, indem sich die erste Biegung zur zweiten, wie $\frac{2}{3}$ zu 1,09 verhält (siehe Theil I. Art. 150).

c) Hieraus läßt sich dann auch folgern, daß die Elasticität im geraden Verhältnisse zur Biegung steht. Wenn ein Gewicht G an das eine Ende oder an die Mitte einer Feder ge-

hangen wird und dieselbe um b Zoll biegt, so wird ein doppeltes, ein dreifaches u. s. w. Gewicht erforderlich seyn, um die Biegung bis auf 2 b, 3 b u. s. w. zu bringen. Dieses hat sich durch die Erfahrung vollkommen bestätigt an Federn, welche gleich Saiten und stählernen Bogen an beiden Enden sich biegen und in der Mitte gespannt werden, so daß diese Federn unter einer doppelten Spannung u. s. w. einen doppelten Druck ausüben können; aber für Federn, die sich nur um einen Punkt biegen und deshalb am freien Ende gedrückt werden, kann dieser Satz nur für kleine Biegungen wahr seyn, da der Hebelarm der Beugekraft, d. i. die Linie B b Fig. 4, immer kleiner wird (so wie B b'), wenn die Biegung zunimmt und die Feder sich in der Stellung B a' befindet, so daß alsdann ein größeres Gewicht an diesem kürzern Arme drücken muß, um die Biegung zu verdoppeln, als wenn der Hebelarm unveränderlich geblieben wäre. In diesem letzten Falle kann das oben Gesagte auf Federn mit einem freien Ende auch ziemlich genau anwendbar seyn; jedoch für sie gilt ganz besonders der folgende allgemeine Satz: die Elasticität einer Feder ist ihrer Krümmung proportional; wenn also der Bogen der Feder am Punkte, wo sie durch ihren Druck wirkt, beinahe mit einem Kreisbogen übereinstimmt, dessen Halbmesser z. B. 5 Zoll beträgt, so wird eine doppelte Kraft erforderlich seyn, um die Feder so zu biegen, daß die Krümmung an dem gedachten Punkte noch einmal so groß wird und fast einem Kreisbogen angehört, dessen Halbmesser $2\frac{1}{2}$ Zoll beträgt rc.

Durch diese beiden Sätze (welche allein angewendet werden können auf Federn von durchgängig gleicher Dicke und von einer gleichförmigen Elasticität an allen Punkten) kann man nun die Spann-

kräfte einer Feder, verschiedenen Biegungen entsprechend, berechnen, so bald man nur die Kraft oder das Gewicht, welches eine Feder tragen kann, für eine bestimmte Biegung kennt. Dieses muß für jede besondere Feder verschieden seyn und kann nur durch einen wirklichen Versuch ausgemittelt werden.

Hieraus muß auch unmittelbar folgen, daß, um die Kraft einer Feder, welche nur um einen einzigen Punkt bewegt wird, so groß, wie möglich zu machen, dieselbe um den Biegungspunkt A Fig. 5 in der Form einer Spirallinie gewunden werden müsse. In dieser Form führt sie auch den Namen einer Spiralfeder.

d) Wenn eine nicht im Zustande der Spannung befindliche Feder, mag nun dieselbe an einem Ende, oder an beiden Enden können gebogen werden, durch ein Gewicht oder durch eine Kraft gedrückt wird; so muß dieses Gewicht oder diese Kraft eine bestimmte Größe haben, um die Feder biegen zu können. Die größte Kraft oder das größte Gewicht, das eine Feder auf einer gewissen Stelle drücken kann, ohne daß letztere eine Biegung erfährt, hängt ab von der Dicke der Feder und von der Größe der Federkraft. Diese letztere ist aber bei jeder Feder verschieden und kann allein aus Versuchen bekannt werden; aber für dieselbe Feder von gleichförmiger Dicke steht genannte Kraft oder Gewicht im umgekehrten Verhältnisse zum Quadrate der Länge, und man hat unter Länge zu verstehen den Abstand des Biegungspunktes von der Richtung der Druckkraft. Diese Kraft beträgt deshalb in einem doppelten Abstande vom Biegungspunkte nur $\frac{1}{4}$ ($= \frac{1}{2^2}$) derjenigen Kraft, durch welche die Feder im einfachen Abstande gedrückt werden kann, ohne sich zu biegen. Hierdurch kann man

bestimmen, wie viel die Schwere einer Feder zu ihrer Biegung beiträgt.

e) Die Biegungen einer Feder, so fern sie nicht sehr groß sind, werden ziemlich nahe proportional seyn den Quadraten der Längen oder der Entfernungen vom Biegungspunkte, wie dieses auch Statt findet bei Körpern, welche auf irgend eine Weise befestigt sind und gedrückt werden. Dasselbe Gewicht, welches auf einen Punkt einer Feder drückt und daselbst eine Biegung b verursacht, wird in einem doppelten Abstande vom Biegungspunkte eine vierfache Biegung zu Wege bringen u. s. w., jedoch gilt dieses nicht für dünne Spiralfedern, welche mehrmals um den Biegungspunkt gewunden werden können, denn bei diesen nimmt die Biegung nach einem andern Gesetze zu, während auch die Hebelarme der Druckkraft mit den Biegungen sich verändern.

Der gegenwärtige Satz wird auch ziemlich gut auf starke Federn anwendbar seyn, die für den Zweck, zu welchem sie bestimmt sind, keine großen Biegungen zu erleiden haben, so daß auch die Entfernungen der Richtung der Druckkraft vom Biegungspunkte während der Biegung so ziemlich dieselben bleiben. Für solche Federn muß dann auch die Kraft, die sie ausüben können, dem Quadrate der Länge proportional seyn; denn die Kraft steht im geraden Verhältnisse zur Biegung, und in einer doppelten Entfernung vom Biegungspunkte wird dann die Feder eine Spannkraft $= 4\,P$ besitzen, wenn die Kraft in der einfachen Entfernung vom Unterstützungspunkte $= P$ ist. Folglich nimmt die Spannkraft einer Feder stark zu mit ihrer Länge, oder auch: lange Federn sind nach Verhältniß viel stärker als kurze Federn, so bald sie sich

an Dicke gleich sind; und dieses findet auch noch Statt, wenn die Dicke dieser Federn verschieden ist und nur im Verhältnisse zur auszuübenden Kraft steht, aber das Verhältniß der Quadrate der Längen besteht dann nicht mehr; die Spannkraft nimmt dann auch ab, wenn die Dicke zunimmt, und wird demnach im geraden Verhältnisse des Quadrates der Länge und im umgekehrten Verhältnisse der Dicke stehen.

f) Die totale Kraft, welche bei der Spannung einer Feder entwickelt werden muß, bis dieselbe einen bestimmten Grad der Spannung b erlangt, ist dem Quadrate dieser Beugung proportional. Denn da die Spannkräfte den Biegungen proportional sind, so wird, wenn diese Kraft für eine Biegung = A B Fig. 6 proportional ist B a, senkrecht auf A E gezogen, und man alsdann durch A und a die Linie A a b c d zieht, so wird für jede andere Biegung A C, A D, A E die Spannkraft proportional seyn C B oder D c, oder E d u. s. w.

Die Summe dieser Kräfte ist dann proportional der Summe der Linien B a, C b u. s. w., d. h. (wenn man für jeden Punkt der Linie A E eine demselben proportionale Kraft annimmt) proportional dem Inhalte des Dreieckes A E d; dieser Inhalt ist wieder proportional dem Quadrate auf A E beschrieben, und diesem Quadrate der Biegung ist also die ganze Kraft proportional, welche vom Anfange der Spannung bis zu einer bestimmten Spannung entwickelt worden ist.

Bei der Abspannung einer Feder findet dieses ebenfalls Statt; die ganze Kraft, welche von der Feder (wir wollen z. B. einen gespannten Bogen annehmen) bei ihrer Abspannung einem Körper mitgetheilt wird, ist proportional dem Quadrate der

Biegung; denn obschon die mitgetheilte Bewegkraft zu Anfang der Wirkung am größten ist und hernach sich allmählig vermindert, so erhält doch der Körper jedesmal einen neuen Impuls, und die Summe aller dieser Impulse ist dem Quadrate der Biegung proportional; aber dabei wird stillschweigend vorausgesetzt, daß die Feder während der Abspannung mit dem Körper in Berührung bleibe, und dieses ist beinahe immer der Fall, während die Wirkung von sehr kurzer Dauer oder beinahe augenblicklich ist.

Wenn eine Feder, welche durch G Pfunde bis zu einer Biegung b gespannt ist, abgespannt wird, so wird der Raum b gleichförmig beschrieben werden durch die Kraft G. Wenn ein Gewicht G durch den Raum $\frac{1}{2}$ b fällt, so besitzt es eine Geschwindigkeit, mit welcher es in gleicher Zeit den doppelten Raum $2 \times \frac{1}{2} b = b$ gleichförmig wird beschreiben können. In beiden Fällen muß die Quantität der Wirkung $= G\,b$ seyn, und es ist deshalb wahr, daß die Kraft, die bei der Abspannung einer Feder (welche durch ein Gewicht G bis zur Biegung b gespannt ist) entwickelt wird, derjenigen gleich steht, welche ein Gewicht G bei dem freien Falle durch den Raum $\frac{1}{2}$ b erlangt.

Aus dem Verhältnisse der Biegungen zu den Spannkräften muß auch noch hervorgehen, daß eine Feder einem Körper immer denselben Grad des Druckes mittheilt, sie werde nun geschwind oder langsam abgespannt.

Die Geschwindigkeit, welche eine gespannte Feder, indem sie sich ausbreitet, einem Körper mittheilen kann, wenn die Beugung bestimmt ist, läßt sich allein durch die Erfahrung feststellen; für dieselbe Feder von gleicher Dicke ist sie der Beugung proportional; kennt man sie nun für eine gewisse Beu-

gung, so ist sie auch für jede andere bekannt; aber für verschiedene Federn hängt sie auch von dem absoluten Maße der Elasticität (§. I. d)) und von der Länge und Dicke der Feder ab. Sie nimmt zu mit der Elasticität und mit der Länge der Feder, während sie der Dicke umgekehrt proportional ist, jedoch muß man für jede Feder von demselben Stoff erst durch Versuche bestimmte Resultate erlangt haben, ehe man sich dieser Verhältnisse bedienen kann.

§. II.

Angabe des Gebrauches der Federn in Werkzeugen oder Maschinen, um Druck, Reaction und Bewegung auszuüben oder zu erzeugen.

Die Federn werden in Werkzeugen und Maschinen benutzt, auf gleiche Weise wie Gewichte, um nämlich Druck auszuüben, eine Gegenwirkung zu erzeugen oder zu äquilibriren, oder endlich, um Bewegung mitzutheilen. Das Hauptsächlichste dieser Anwendungen soll kürzlich angegeben werden.

A. Anwendung der Federn, um Druck zu erzeugen oder auszuüben, um zu verhindern, daß eine Bewegung in einer bestimmten Richtung Statt finde u. s. w.

10) Beispiele hiervon sind bereits in der 2. Abth. des 2. Theiles gegeben, und es läßt sich auch aus der Natur der Sache leicht entnehmen, daß eine gespannte Feder, welche gegen einen Körper drückt, denselben Effect leistet, wie ein Gewicht; aber in sehr vielen Fällen haben Federn vor Gewichten bei weitem den Vorzug. Zuerst kann eine stählerne Feder in einen sehr kleinen Raum gebracht und doch so stark gespannt werden, daß sie einen starken Druck ausübt. Sie kann deshalb in den kleinsten

Maschinen benutzt werden, um zwei oder mehrere Theile gegen einander angedrückt zu erhalten, oder um zu verhindern, daß ein Theil, der von andersher gedrückt wird, in Folge dieses Druckes in einer bestimmten Richtung sich bewege.

Zum andern drückt eine Feder in jeder Richtung, in welcher sie angebracht wird, was man durch die Schwere eines niederhängenden Gewichtes zwar auch erlangen kann, aber nicht ohne die Anwendung von Scheiben, über welche die Schnur oder die Kette des Gewichtes geleitet wird, und in vielen Fällen macht die Art oder die Aufstellung der Maschine, ihr Umfang u. s. w. die Anwendung oder die Anbringung von Scheiben ganz unthunlich. Die Gewichte werden deshalb sowohl bei großen, als bei kleinen Maschinen durch Federn ersetzt, so bald es hauptsächlich auf Gedrungenheit und compendiöse Einrichtung ankommt; muß aber ein sehr großer Druck ausgeübt werden, und hat man hinlänglichen Raum für Gewichte, so haben diese auch häufig vor Federn den Vorzug und besonders deshalb auch, weil sie einen steten Druck verursachen, was bei einer Feder keineswegs der Fall ist; denn diese wird, wenn sie stets gespannt bleibt, schwächer und muß deshalb jedesmal aufs Neue gespannt werden.

Die Form einer Feder, welche blos dazu bestimmt ist, Druck auszuüben, ist manchmal willkürlich, wird aber häufig bestimmt durch den vorhandenen Raum, nach der Art des Druckes und nach der Quantität der erforderlichen Spannung. So kann die Feder Fig. 7 Nr. 1, wenn sie mehr oder weniger zusammengepreßt wird, sehr zweckmäßig angewendet werden, um auf zwei Körper A B und C D gleichzeitig zu drücken, damit diese stets eine Neigung behalten, sich von einander zu entfernen.

Die schraubenförmig gewundene Feder Fig. 7 Nr. 2 kann, um einen Cylinder gewickelt, hierzu ebenfalls dienen. Sollen zwei Körper A B und C D Fig. 8, die sich durch gewisse Kräfte einander zu nähern bestimmt werden, in einem gewissen Abstande von einander gehalten werden, so daß sowohl das Nähern, als das Entfernen möglich bleibt, so wird eine Feder ohne Ende in der Form eines doppelten Bogens a c b d diesen Effect gewähren können, wenn sie bei c und d mit den genannten Körpern verbunden wird und um die Enden a und c sich biegen kann. Eine schraubenförmig gewundene Feder könnte in diesem letzten Falle auch benutzt werden, doch sie würde dann nicht durch Zusammendrücken, sondern durch Ausdehnung wirken müssen, und hierzu sind Federn weniger tauglich, da sie bei einiger beträchtlichen Streckung aus ihrem natürlichen Zustande immer viel von ihrer ursprünglichen Federkraft zu verlieren pflegen. Die Zahl der Gewinde einer schraubenförmigen Feder richtet sich hauptsächlich nach dem Raume, den sie einnehmen kann oder muß; jedoch im Allgemeinen ist eine größere Zahl von Gewinden besser, als eine kleine, weil dann mehr Wahrscheinlichkeit vorhanden ist, daß die Federkraft gleichmäßig bleiben werde; aber die Federkraft wird keineswegs, wie man vielleicht denken könnte, durch die Zahl der Gewinde vermehrt, da sie allein abhängig ist von der Art des Stoffes, von der Dicke der Feder und folglich von dem Grade der Zusammendrückung, welche sie auszuhalten vermag.

Saiten oder zusammengedrehte Seile können auch in vielen Fällen sehr zweckmäßig statt der Federn benutzt werden, um die Entfernung einiger Theile einer Maschine zu verhüten. Soll der Druck nur auf einen Körper ausgeübt werden, so habe

die Feder die Gestalt eines stählernen Bandes A B Fig. 9, welches bei A um einen festen Punkt gebogen werden kann. Eine Spiralfeder Fig. 10 und 11 ist hierzu auch vorzüglich geeignet, aber diese kann man schwierig unter allen Dimensionen der Länge und Dicke gebrauchen.

Federn dürfen niemals mit den scharfen Kanten ihrer Enden gegen die Theile von Maschinen andrücken, sondern immer so viel wie möglich mit einem Theile ihrer gebogenen Oberfläche am Ende, so wie in Fig. 7 und 9. Besonders wird dieses erfordert, wenn sie auch manchmal durch eine plötzliche Ausbreitung eine Bewegung oder Ausweichung von Theilen bewirken müssen. Ist dann die Feder so angebracht, daß sie nur mit ihrem Ende drücken kann, so muß dieses Ende wenigstens abgerundet werden, wie in Fig. 12, wo die gebogene Feder A B verhindern muß, daß der Hebel B C in der Richtung a b sich drehe, oder das Ende der Feder muß, wie in Fig. 10 mit einem Röllchen R auf den Hebel R A wirken, wenn dieser auf bestimmte Augenblicke oder allmählig niedergedrückt werden muß, obgleich man in diesem Falle noch weniger Reibung und Abnutzung wahrnimmt, wenn die Feder durch ein Scharnierstängelchen a b Fig. 11 auf den Hebel wirkt.

S p i r a l f e d e r n bieten ein sehr einfaches Mittel dar, sie nach Willkür zu spannen, indem man nämlich die Federwelle, mit welcher das eine Ende derselben fest verbunden ist, mit einem sogenannten Schlüssel umdreht; denn dabei wird die Feder natürlich immer mehr und mehr um diese Welle gewunden und also stärker gebogen werden; jedoch darf das andere Ende der Feder, wie leicht einzusehen ist, dann nicht frei sein, sondern muß gegen ein Hinderniß drücken, denn sonst könnte die Span-

nung nicht Statt finden. Auch muß die Federwelle beim Aufwinden verhindert werden können, zurückzulaufen, was gewöhnlich durch ein kleines Gesperr bewerkstelligt wird.

Die Dicke der Federn wird nach den gewöhnlichen Regeln (vorausgesetzt, daß hinlängliche Data hinsichtlich des Maßes ihrer Elasticität aus der Erfahrung vorhanden sind) und zwar nach ihrer Länge und Breite, und nach dem erforderlichen Drucke bestimmt. Die Quantität der Biegung wird für Federn von gleicher Dicke genau proportional der Spannung, jedoch hierüber sowohl, als bei Federn von stets abnehmender Dicke muß man in jedem Falle Versuche anstellen. Dieser Weg ist in der Praxis auch der bequemste, um die Krümmung oder Biegung einer Feder bis auf die genau erforderliche Quantität bringen zu können, so bald man nur der Feder eine solche Länge gegeben hat, bei welcher sie die erforderliche Biegung aushalten kann.

Als ein merkwürdiges Beispiel der Anwendung der Federn statt der Gegengewichte kann man einige Waagen, Schnellwaagen und dergleichen Wägemaschinen anführen, in welchen die Spannung einer Feder denselben Dienst leistet, als das Gegengewicht in einer der Schaalen einer gewöhnlichen Waage. Es gibt verschiedene Formen von Federwaagen, jedoch ihre Zusammensetzung beruht immer auf dem Grundsatze, daß die Biegungen oder Ausdehnungen den spannenden Gewichten proportional sind; jedoch findet einige Abweichung von diesem Verhältnisse in den Federn ohne Ende und in allen Bogenfedern Statt, die sich um zwei Punkte biegen, deren Abstand während der Biegung nicht derselbe bleibt.

Es sey A B C D E Fig. 13 ein gut gehärteter stählerner Bogen, welcher um die Punkte A und C

gebogen werden kann, wenn er mit dem Ringe B an einem Punkte befestigt oder gehangen ist, und an dem gegenüberstehenden Ringe gezogen, oder mit einem Gewichte belastet wird. Die Bogen A B C und D E C werden dann von einander in der Richt. B F entfernt, die Feder wird ausgedehnt und übt Federkraft aus. Man kann die Feder auch in der Richtung A C ziehen, so daß die Punkte B und F alsdann die Biegungspunkte werden, welche sich einander nähern, aber hierzu wird viel mehr Kraft erfordert, als nöthig ist, um die Feder in der Richtung B F aus einander zu ziehen und die Punkte A und C einander näher zu bringen. Die Feder einer Waage kann von jeder Art seyn, und also z. B. eine schraubenförmige Feder Fig. 7, deren Ausdehnungen man für bestimmte Gewichte mißt, oder eine Feder, die sich biegt. Letztere kann sich nun wieder um einen einzigen Punkt biegen, oder auch eine Feder von doppeltem Bogen seyn. Die Art und Weise, wie diese letztere als Waage dienen kann, ist verschieden, jedoch ist es hier nicht der Ort, die verschiedenen Zusammensetzungen dieses Werkzeuges zu beschreiben und zu beurtheilen; aber um von seiner Haupteinrichtung einen Begriff zu geben, dient die Beschreibung der folgenden Federwaage, welche zwar nicht die genaueste, jedoch im Großen die einfachste ist, um die Größe des Gewichtes einer gewissen Waare, oder lieber das Maß des Druckes einer gewissen Kraft annähernd zu bestimmen.

Mit der obersten Feder A B C Fig. 13 ist ein vertikales Plättchen c d verbunden, und ein dergleichen in kurzer Entfernung und parallel mit ersterem, was in der Figur nicht angegeben ist, mit demselben Bogen A B C. Zwischen diesen Plättchen befinden sich zwei messingene Scheiben e, f, die sich

um ihre Nägel drehen können; die Scheibe f ist kleiner, als die Scheibe e im Verhältnisse von 3 oder 4 zu 1. Die Scheibe e hat zwei Kehlen, die Scheibe f dagegen nur eine Kehle. Ueber die Scheibe f und eine der Kehlen der Scheibe e ist ein Kettchen ohne Ende geschlagen; wenn sich deshalb f dreht, theilt es e Bewegung mit. Die Scheibe f sitzt fest auf ihrem Nagel, welcher sich in zwei Augen der oben genannten Plättchen dreht; aus dem hintersten Plättchen ragt dieser Nagel hervor und trägt einen Zeiger, welcher auf einem runden Zifferblatte g h i an der andern Seite der Maschine die Abtheilungen anzeigt, welche auf dem Rande dieses Zifferblattes verzeichnet sind.

Der Bogen D F E trägt ein vertikales messingenes Stäbchen oder Lineal a b, dessen vordere Seite in einer kleinen Entfernung vom Umfange der Scheibe e liegt. Diese vordere Seite ist mit der Scheibe e durch eine undehnbare Schnur oder durch ein Kettchen verbunden, das über die zweite Kehle der Scheibe e geschlagen ist und deren Enden an dem Lineale a b bei a und b befestigt sind. Wenn nun die Feder in der Richtung B S gezogen wird, so wird das Lineal a b dem Bogen D E C in der Bewegung folgen; dieses kann nicht Statt finden, ohne daß die Scheibe e sich umdreht, während dann die Scheibe f sich mit umdrehen und den Zeiger an der andern Seite der Platte g h i verschieben wird.

Da, wo der Zeiger steht, wenn sich die Feder in ihrem natürlichen Zustande befindet, mache man auf dem Rande der Platte einen Einschnitt und bezeichne damit den Nullpunkt. Man hänge alsdann an den Bogen D F E nach einander verschiedene Gewichte von 5, 10, 15, 20 Pfund u. s. w., und bemerke die Stellen, welche der Zeiger nach und

nach einnimmt, bei den Zahlen 5, 10 u. s. w. Wenn der Abstand der Punkte A und C während der Biegung der Feder unveränderlich derselbe bliebe, und wenn die Federkraft des Bogens so vollkommen wie möglich wäre, so müßten (wenn die Dicke des Bogens überall sich gleich wäre) die Abstände der Theilstriche auf der runden Platte auch alle gleich seyn, da für gleiche Zunahmen der Spannung die Biegungen auch auf gleiche Weise zunehmen müssen; dieses Alles findet jedoch wegen des veränderlichen Abstandes A C von den Biegungspunkten A und C nicht Statt, und deshalb muß man alle Abtheilungen durch Versuche bestimmen, so weit die Stärke der Feder dieses zuläßt, oder so weit es sich für den Zweck nöthig macht.

Die Ausdehnung der Feder in der Richtung A C verursacht ein Zusammendrücken in der Richtung D F; die Bogen A B C und A F C müssen sich dann einander nähern, und das Lineal a b wird nun gerade entgegengesetzt bewegt, wie im vorhergehenden Falle. Die Bewegung des Zeigers findet auch in einer entgegengesetzten Richtung Statt, und man kann deshalb gerade so, wie oben, auch die Abtheilungen auf die Platte tragen, welche mit der Ausdehnungskraft in der Richtung A C übereinstimmen. Diese Ausdehnungskräfte werden viel größer seyn, als diejenigen, welche die Feder in der Richtung B F eine merkliche Ausdehnung erfahren lassen. Diese Kraft wird bei mittelmäßig großen Federwaagen (in der Länge A C 50 Zoll, in der Breite B F 20 Zoll betragend, und mit einer stählernen Feder oder Bogen von $2\frac{1}{2}$ bis 3 Linien Dicke und 4 bis 5 Zoll Breite versehen) bis zur Ausübung eines Druckes von 1000 Pfund gehen können.

Anmerkung. Die Wirkung der Feder wird genauer seyn, und die Abtheilungen des Zifferblattes

g h i werden regelmäßiger auf einander folgen, wenn das Stäbchen a b mitten im Bogen angebracht ist; aber die Scheiben e und f u. s. w. dürfen dann nicht in der Ebene des Bogens liegen, sondern sie müssen in einer Richtung liegen, welche senkrecht durch diese Ebene läuft. Die Maschine hat alsdann nicht den Fehler, daß das Lineal a b den Scheiben jedesmal genähert oder von ihnen entfernt wird. In der Figur ist Alles, als in derselben Ebene gelegen, dargestellt, damit man sich leichter davon eine Vorstellung machen könne.

Aber auch ohne die Scheiben oder das Lineal a b zu versetzen, kann man den angedeuteten Mangel dadurch abhelfen, daß man das Lineal a b in die Mitte F der Federwaage stellt und es mit einem Ringe oder Bügel die Scheiben umfassen läßt; letzteres ist jedoch nicht absolut nothwendig; denn das einfache Stäbchen a b ist ausreichend und kann an derselben Stelle bleiben, welche in der Figur angegeben ist, so bald nur der Fuß nach F gebogen und daselbst an der Feder befestigt wird.

Aus dieser Beschreibung läßt sich leicht abnehmen, wie eine Federwaage benutzt werden kann, um die Schwere oder den Druck der Körper, oder um das Druckvermögen von Kräften zu bestimmen. Zu letzterem Zweck lassen sich nun die Federn auf eine weit compendiösere Weise benutzen, als dieses mit Gewichten möglich ist, aber die Federkraft einer Feder muß auf die Dauer abnehmen, und die Skale der Federwaage wird endlich das Maß der Statt findenden Drucke nicht genau mehr anzeigen. Darin liegt jedoch kein Grund, warum diese Art der Waage nicht sehr gut benutzt werden könnte, um das Maß verschiedener Drucke oder Druckkräfte kennen zu lernen, im Falle die unmittelbare Anwendung von Gewichten einen zu umständlichen Apparat erfordern

sollte; denn man kann, wenn man den Theilstrich beobachtet, auf welchen der Zeiger durch einen gewissen Druck auf die Feder geführt wird, alsdann untersuchen, welches Gewicht an die Feder gehangen werden muß, um dieselbe Wirkung zu erhalten.

B. **Anwendung der Federn, um Bewegungen in entgegengesetzten Richtungen zu behindern und zu erzeugen; um die Veränderungen in der Richtung der Bewegung einer Maschine zu erleichtern; und um die Wirkung der Stöße zu vernichten.**

11) Beispiele von Federn, deren Wirkung darin besteht, die Bewegung eines Theiles eines Werkzeuges zu hindern, so daß diese Bewegung (wie z. B. in einigen der Fälle, die in Art. 10 angeführt sind) nur in einer bestimmten Richtung Statt finden kann, trifft man in sehr vielen Maschinen und Werkzeugen von täglichem Gebrauch an, wie z. B. in dem größten Theile der gewöhnlichen Schlösser; die Schlagfedern der Messer gehören ebenfalls hierher.

Eben so werden die Federn in vielen Maschinen oder Werkzeugen benutzt, um die Bewegung eines mechanischen Theiles in einer gewissen Richtung zu hindern und zu bewirken, daß diese Bewegungen in der entgegengesetzten Richtung Statt findet, so bald die Kraft, welche die Feder ausdehnt oder zusammendrückt, zu wirken aufhört. Dazu dient die Feder verschiedener großer und kleiner Kneipzangen, die man in Künsten, Gewerben und Handwerken mannichfaltig anwendet; ferner diejenigs vieler schneidenden Werkzeuge, z. B. diejenige der Schafscheere, ferner diejenige, welche man im Schraubstocke des Grobschmiedes antrifft;

diejenige, mit welcher viele Schlösser versehen sind u. s. w.

In allen diesen Werkzeugen leistet die Feder durch ihre langsame oder plötzliche Ausbreitung und so lange sie gespannt bleibt, durch ihren kräftigen Gegendruck den größten Nutzen; sie gewährt viele Erleichterung bei der Behandlung von Werkzeugen, befördert deren beabsichtigte Wirkung, kann aber, wie leicht zu ermessen ist, der wirkenden Kraft keine Erleichterung hinzufügen, da sie im Gegentheil eine große Portion der vorhandenen Bewegkraft zu ihrer Spannung bedarf, und wohl eben so viel Kraft, als sie nach ihrer Spannung auszuüben vermag.

Die Form der Federn, welche für oben genannte Zwecke benutzt werden, ist verschieden, je nach dem Orte, den sie einnehmen sollen — je nach der Form des Werkzeuges, auf welches oder in welchem sie wirken sollen — und je nach der Extension der Bewegung, welche sie erzeugen sollen. Unter der Form von Fig. 9, 12 und 14 kommen sie meistens vor, aber sie können noch viele andere Gestalten haben; sie können um einen einzigen Punkt, oder um zwei Punkte biegsam seyn u. s. w.

Für den letzten der eben genannten Zwecke, nämlich um die Bewegung eines Theiles eines Werkzeuges nach einer entgegengesetzten Richtung entstehen zu lassen, und um zugleich zu bewirken, daß die bewegende Kraft leichter und gleichförmiger angewendet werde, braucht man sehr häufig zähe, hölzerne Stangen Fig. 15 oder hölzerne (auch wohl stählerne) Bogen Fig. 16, die um einen festen Punkt A gebogen werden können und durch eine Darmsaite oder ein dehnbares zusammengedrehtes Seil mit dem Körper verbunden sind, der z. B. in einer vertikalen Richtung von der bewegenden Kraft niedergedrückt wird und alsdann durch die Ausbreitung

des federnden Theiles A C wieder emporgeführt wird. Auf diese Weise bringt man mit großem Nutzen und zur großen Bequemlichkeit des Arbeiters diese Feder in Verbindung mit dem Trittbrete einer Drehbank oder mit dem beweglichen Blatte eines Blasebalges, oder mit einer schweren eisernen Mörserkeule, um harte Stoffe in Mörsern zu zerkleinern, so daß der Arbeiter wenig Kraft anzuwenden braucht, um die Mörserkeule zu heben und die Zurückwirkung der Feder beim Niederfallen nur zu überwinden hat, was natürlich viel weniger Kraft erheischt, als zum Heben der Mörserkeule erforderlich ist.

Bei der auf- und niedergehenden Bewegung der Theile einer Maschine oder eines Werkzeuges kann eine Feder vorzüglich gute Dienste leisten, um die Geschwindigkeit der Bewegung am Ende des zurückzulegenden Weges allmählig zu vermindern, und endlich durch ihre Ausbreitung die wirkende Kraft beim plötzlichen Zurückführen des bewegten Theiles mächtig zu unterstützen. Die Feder verhindert auf diese Weise die nachtheilige Wirkung der Stöße und kann, besonders bei der geschwinden abwechselnden Bewegung schwerer Hebel mit Nutzen angewendet werden (vergl. Theil I., Art. 53).

Beim Stoß elastischer Körper findet kein Verlust an Quantität der Wirkung Statt; mit andern Worten, die Stöße, welche auf oder gegen einen elastischen Körper ausgeübt werden, werden von demselben auf keine nachtheilige oder empfindliche Weise, sondern immer sanft dem stoßenden Körper oder den Körpern mitgetheilt, mit denen die Feder verbunden ist. Die Stöße, welche eine Feder empfängt, verursachen kein Zittern oder Schwanken ihrer Theile um den Biegungspunkt; die Feder wird deshalb plötzlich gespannt, breitet sich aber

alsdann wegen ihrer Elasticität sogleich wieder mit einer gleichen Kraft aus, sie wirkt plötzlich zurück und vernichtet auf diese Weise die Wirkung der Rucke und Stöße auf die Körper, mit denen sie verbunden ist. Man kann sich nun mit Vortheil diese Eigenschaft der elastischen Körper zu Nutzen machen, um empfindliche Stöße auf manche Maschinentheile zu vermindern, indem man nämlich zwischen dem Theile, der gestoßen wird, und einem andern Theile, auf welchen die Stöße eine nachtheilige Wirkung haben würden, eine Feder bringt, ohne weitere Rücksicht auf ihre Gestalt.

Bekannt sind in dieser Hinsicht die verstählten Hängefedern und die Horizontalfedern an Kutschen und Wagen, deren man sich jetzt ganz allgemein statt der ledernen Hängeriemen bedient, welche die Stöße der Bewegung bei weitem nicht so vollkommen abwenden und vernichten, obschon es andern Theils nicht unbekannt seyn kann, daß diese Verbesserung eine beträchtliche Erschwerung der Kutschen oder Wagen zur Folge hat.

Die Anbringung und die Form dieser Federn sind zu allgemein bekannt, als daß eine specielle Beschreibung derselben nöthig wäre; in Bezug auf die Form derselben muß jedoch bemerkt werden, daß sie nicht wohl von einer gleichförmigen Dicke seyn können, weil diese Dicke im Verhältnisse zur Last, welche sie tragen müssen und bei dem unaufhörlichen Schwanken, in welchem sie sich durch die unebene Bewegung des Wagens befinden, zu groß seyn müßte, als daß man eine hinlängliche oder auch nur eine merkbare Wirkung von Elasticität erwarten könnte. Diese Federkraft würde noch nicht sehr bedeutend seyn, wenn die Feder, wenn sie auch beim Biegungspunkte oder bei den Biegungspunkten viel weniger dick wäre, als beim Tragpunkte, aus einem

einzigen Stücke verfertigt wäre. Aus diesen Gründen bestehen sie aus einer Menge auf einander gelegter stählerner Bänder oder Federn, die an Länge stets abnehmen und von denen jedes sich unbehindert auf sich selbst biegen kann. Zu diesem Zwecke können sie sich längs kleiner Knöpfe oder Nägel, welche in die unmittelbar darunter liegende Feder geschlagen sind und in einem geräumigen Schlitze der darüber liegenden Feder sitzen, unbehindert über einander schieben; denn wären die Enden der verschiedenen Federn fest an einander genagelt, so würde dadurch die Federkraft sehr vermindert werden, sie würden sich nicht biegen können, und starke Stöße müßten alsdann das Zerbrechen der Feder bewirken. Diese zweckmäßige Verbindung verschiedener Federn kann in sehr vielen andern Fällen mit Vortheil benutzt werden. Läßt es die Länge oder die Entfernung der Biegungspunkte nicht zu, daß man der Feder bei der erforderlichen Dicke, die sie am Tragpunkte haben muß, eine hinlängliche Kraft oder Biegsamkeit geben kann; muß man, um die erforderliche Dicke am Tragpunkte zu erlangen, eine zu große Anzahl Federn auf einander legen, so daß die Quantität der Biegung dann ungenügend wird: so kann man diese Schwierigkeit dadurch beseitigen, daß man zwei Federn mit einander verbindet, wie z. B. die doppelte Bogenfeder Fig. 8. Diese doppelte Feder kann wiederum an den Enden mittelst drehbarer Bügel oder Gehänge an zwei andere einfache oder doppelte Federn gehangen werden, und auf diese Weise ist man im Stande, durch Anbringung von Federn, die auf einander wirken, die erforderliche Stärke mit der verlangten Quantität der Biegung zu vereinigen, was man auch bei schweren Wagen oder Kutschen angewendet findet.

C. Anwendung der Federn, um Bewegung mitzutheilen.

12) Von einem ausgedehnten Nutzen und Gebrauch sind auch die elastischen Körper oder die Federn, um andern Körpern oder Theilen von Körpern Bewegung mitzutheilen. Jede Art der Feder, aus welchem Stoffe sie auch bestehen möge, kann diese Wirkung hervorbringen. **Seile, Darmsaiten** und **Stahlfedern** werden hierzu jedoch wohl am meisten angewendet.

Ein Seil oder eine Darmsaite kann auf zweierlei Weise in eine federnde Spannung gebracht werden, um alsdann durch Abspannung Bewegung mitzutheilen: Zuerst, wenn man dieselben an zwei Punkten C und C Fig. 16 befestigt und sie dann in der Mitte spannt oder ausdehnt. Um die Wirkung der Federkraft in diesem Falle zu vermehren, muß der Körper C A C, an welchem die Schnur oder die Darmsaite befestigt ist, selbst eine Feder seyn; das Werkzeug ist alsdann vom gewöhnlichen Bogen, mit welchem man Pfeile schießt, nicht verschieden, und die mitgetheilte Bewegung wird geradlinig seyn.

Zum andern spannt man ein Seil Fig. 17, indem man dasselbe dreht und auf sich selbst umschlägt, ganz so, wie die Fäden oder Litzen eines Taues gedreht werden. Man nehme z. B. ein Seil ohne Ende, hänge dasselbe an zwei feste Punkte A und B; indem man nun einen dazwischen gesteckten Stock C D beständig umdreht, dreht man auch das Seil um; dasselbe wird hierdurch stark gespannt; es besteht deshalb ein Bestreben, sich abzuspannen und aufzuwickeln, welches durch jeden Theil des Seiles ohne Ende auf zwei gegenüberliegende Seiten des Stockes C D ausgeübt wird; diese Spannungen sind an beiden Seiten gleich, jedoch einander nicht entgegengesetzt. Es sind deshalb

zwei gleiche Kräfte, welche in den entgegengesetzten Richtungen a b und c d Fig. 18 auf zwei verschiedene Punkte des Körpers C D wirken, und da dieser Körper zwischen das Seil geklemmt ist, so wird er wechselsweise an jedem der Theile des zusammengeknüpften Seiles einen Stützpunkt haben, um welchen die Umdrehung geschehen kann. Zugleich mit dem Aufdrehen des Seiles wird der Körper C D alsdann eine umdrehende Bewegung empfangen, deren Geschwindigkeit und Kraft mit der Spannung des Seiles stark zunimmt.

Kann der Körper C D in Folge einer Behinderung sich nicht umdrehen, so übt er gegen dieses Hinderniß Druck aus; dieser Druck entsteht durch die Spannung des einen Theiles des zusammengeknüpften Seiles, während der andere Theil zum Unterstützungspunkte dient, so daß C D alsdann ein Hebel der ersten Art ist, dessen Ende D einen um so größern Druck gegen das Hinderniß ausüben wird, je kürzer der Arm C D ist.

Die Elasticität eines Seiles, welches auf diese Weise gedreht oder gespannt worden ist, dient also nicht allein, um einem Körper C D eine geschwinde umdrehende Bewegung mitzutheilen, sondern auch, um Druck auf einen Körper auszuüben, oder die Theile A und B eines Werkzeuges stark spannen zu können, wozu die gewöhnliche Spannsäge einen Beleg gibt. Um Bewegung mitzutheilen, muß der Effect sehr vergrößert werden, so bald die Theile A und B, um welche die Spannung geschieht, selbst elastische Körper oder Federn sind.

Wenn man das eine Ende eines Seiles ohne Ende oder eines Stranges Fig. 19 an einen unverrückbar festen Punkt A hängt, in das andere Ende einen Stock C D legt und diesen nachher umdreht, so wird der Strang zusammengedreht und

gespannt werden, so daß, wenn die umdrehende Kraft aufhört zu wirken und Gelegenheit zur Abspannung vorhanden ist, der Stock C D mit dem Strang A C in eine geschwinde kreisförmige Bewegung versetzt werden wird. Wird dagegen der Stock C D gehindert, sich umzudrehen, so übt er Druck gegen das Hinderniß aus, und diese Wirkung kann man sich in sehr vielen Fällen, so wie auch in denjenigen, welche in Art. 10 und 11 oben genannt sind, zu Nutzen machen.

Wollte man die kreisförmige Bewegung, welche ein gedrehtes Seil Fig. 17 und 19 einem Stocke C D mittheilen kann, zur Umdrehung der Theile eines Werkzeuges benutzen, so würde diese Bewegung, so bald sie nicht von kurzer Dauer seyn soll, langsam seyn müssen; außerdem aber bedürfte das Werkzeug noch einer besondern Einrichtung, um von dem sich abspannenden Seile eine regelmäßige Bewegung zu empfangen; denn da die langsame Abspannung jedesmal mit einer geringern Kraft vor sich geht, so nimmt auch der Druck und die Geschwindigkeit ab, welche durch denselben Punkt des Stockes C D einem Körper mitgetheilt werden kann. Es kann jedoch nicht vorausgesetzt werden, daß ein Seil oder ein anderer dehnbarer Körper in allen seinen Punkten dieselbe absolute Elasticität besitze, und daß also die Spannkraft in demselben Verhältnisse, wie die Biegung zu- oder abnähme. Dadurch muß aber die Schwierigkeit noch größer werden durch das langsame Aufdrehen eines stark zusammengedrehten Seiles, einem Werkzeuge eine regelmäßige Bewegung mitzutheilen und vielleicht liegt hierin auch der Grund, warum man die Federkraft auf diese Weise nicht als bewegende Kraft angewendet hat.

Eine sehr kräftige Wirkung bekommt man jedoch, und kann einen sehr nützlichen Gebrauch von der Federkraft eines gedrehten Seiles machen, um starke Stöße oder Schläge auf einen Körper auszuüben; denn wenn ein solcher Körper E Fig. 17 sich in der Richtung der Bewegung des Stockes C D befindet, so wird dieser bei dem Stoßen oder Anstoßen seine ganze Quantität der Wirkung auf den Körper E ausüben müssen, und diese Quantität kann wegen der großen Geschwindigkeit, mit welcher sich das Seil aufwickelt, sehr groß seyn.

Die Alten benutzten die mächtige Wirkung stark gedrehter Seile mit vielem Effect bei ihren fürchterlichen Kriegsmaschinen, um Pfeile von übermäßiger Länge und Schwere, Steine u. s. w. auf ihren Feind oder gegen seine Vertheidigungswerke zu werfen. Für den letzten Zweck bestand die Haupteinrichtung ihrer Maschine in einem Seile A B Fig. 17, welches durch Haspel und Hebel so stark wie möglich um einen kurzen Balken C D gedreht wurde, an dessen Ende D ein Kasten, mit Steinen gefüllt, befestigt war. Dieser Balken wurde nun durch das sich aufwickelnde Seil mit großer Kraft umgedreht und stieß alsdann gegen den elastischen Körper E, durch welchen Stoß die Steine aus dem Kasten mit einer großen Geschwindigkeit fortgeschleudert wurden.

Stark gespannte oder gedrehte Schnuren können deshalb weniger dazu benutzt werden, um einem Werkzeuge eine anhaltende Bewegung von einiger Dauer mitzutheilen, als vielmehr um durch eine plötzliche Abspannung einen Körper in eine fortschreitende Bewegung zu setzen, oder starke Stöße auf einen Körper auszuüben. In diesen letzten Fällen kann die Wirkung sehr groß werden und schwerlich durch stählerne Federn in gleichem Maße her-

zustellen seyn; und die Größe dieser Wirkung wird (nach den Grundsätzen von Art. 9, §. I. f) bekannt werden, wenn man durch die Erfahrung die Größe der Spannkraft und das absolute Maß der Kraft der Feder bestimmt hat.

13) Stählerne Federn können durch eine plötzliche Ausbreitung oder Abspannung einem Werkzeuge eine kurzdauernde und augenblickliche Bewegung mittheilen, entweder um einen Stoß oder einen Schlag auszuüben, oder um manche Theile plötzlich von einander zu entfernen, an einander zu bringen, zu verrücken, auszulösen u. s. w., um die Bewegung oder Entfernung anderer Theile in einem bestimmten Augenblicke herzustellen, möglich zu machen, oder zu behindern. Die Feder bleibt dann nur einen Augenblick mit dem zu bewegenden Körper in Berührung, während sie gespannt ist, und sie wird durch einen Haken, durch ein Sperrrad, wie auch auf andere Weise in dem Zustande der Spannung bis zu dem Augenblicke erhalten, wo die Wirkung geschehen soll. Man weiß, daß sie für den erwähnten Zweck in vielen bekannten Werkzeugen angewendet wird, z. B. in gewöhnlichen Schlössern, in Schnappschlössern, in den Schlössern der Gewehre, an schneidenden Instrumenten u. s. w. Die Form der Feder ist meistentheils so, wie diejenige, welche in Fig. 9 und 12 angegeben ist, und es ist diese letztere die sogenannte einfach gestaltete Feder, deren man sich in sehr vielen mechanischen Einrichtungen (besonders in Schlössern und ausnahmsweise in Gewehrschlössern) mit vielem Nutzen bedient; aber ihre Form ist dann mehr platt und gefaltet, compendiöser und für einen größern Druck geeigneter, als die in der Figur dargestellte; jedoch wendet man auch manchmal gefaltete Federn, Fig. 7 Nr. 1,

schraubenförmige Federn, Fig. 7 Nr. 2, Spiralfedern, Bogenfedern u. s. w. an, je nachdem der Raum, die Form und der Abstand der gedrückten Theile dieses erheischen.

Wenn eine stählerne Feder benutzt werden soll, um einem Werkzeuge anhaltende Bewegung mitzutheilen, so muß sie sich langsam ausbreiten und mit dem Theile, auf welchen sie wirkt oder drückt, beständig in Berührung bleiben; über dieses muß die Abspannung durch mechanische Mittel verzögert und regelmäßig gemacht werden, denn wenn eine Feder durch die größte Last, welche sie tragen kann und unter welcher sie sich abspannen kann, gedrückt wird, so pflegt diese Abspannung, wenn sie übrigens unbehindert geschieht, immer in einer sehr kurzen Zeit zu erfolgen. In dieser Hinsicht stehen die Federn den Gewichten bei weitem nach, deren man sich bedient, um Werkzeuge zu bewegen; denn obgleich die Bewegung dieser letztern beschleunigend ist, so kann man dieselbe doch von einer längern Dauer seyn lassen, als diejenige der Abspannung einer Feder. Da ferner die Kraft der Feder bei langsamer Abspannung stets abnimmt, so kann sie die Bewegung nicht anhaltend mit demselben Moment unterhalten; darum muß die Wirkung der Feder auch durch zweckmäßige Mittel regelmäßig gemacht werden.

Schraubenförmige und Spiralfedern sind, weil sie ein starkes Zusammendrücken oder Biegen vertragen können, auch hinsichtlich ihrer Form die besten, um einem Werkzeuge Bewegung mitzutheilen, denn je weiter diese Bewegung gehen kann, um so viel größer kann die Dauer der Abspannung seyn. Die schraubenförmig gewundene Feder eignet sich jedoch wenig für diesen Zweck, da sie nicht in solchem Grade gebogen werden kann, wie die Spiralfeder, und auch nicht unmittelbar

gleich dieser letztern Feder eine umdrehende Bewegung mittheilt.

Die Spiralfedern werden, um eine anhaltende Bewegung mitzutheilen, am meisten angewendet in Taschenuhren und in kleinen Pendeluhren. Die Art und Weise, wie sie in diesen Uhren unmittelbar eine kreisförmige Bewegung mittheilen und in einer langsamen und regelmäßigen Wirkung erhalten werden, ist die zweckmäßigste. Die Feder selbst ist ein schmaler, stählerner Streifen von sehr geringer, doch überall von gleicher Dicke; sie liegt in einer Trommel, an deren inwendiger Seite das eine Ende angehakt ist, während das andere Ende mit der Welle in Verbindung steht, um welche sich die Trommel frei drehen kann; ist die Feder um diese Welle (durch die Umdrehung der Welle der Schnecke, und durch das Aufwinden der Kette) gewunden, so strebt sie natürlich sich auszubreiten; dazu muß die letzte Spiraltour der Feder natürlich erweitert oder verbogen werden, was wiederum nicht geschehen kann, ohne daß die Trommel zurückgezogen und also um die Welle (welche während der Ausbreitung der Feder unbeweglich bleibt) herumgeführt werde. Die Kette, welche von der Trommel um die Schnecke läuft, theilt dieser letztern die Bewegung der Trommel mit, und die Bewegung der Schnecke geht ferner auf das vorhandene Räderwerk über. Die Schnecke ist ein spiral- oder kegelförmiger Haspel, um welchen die Kette von oben nach unten gewunden ist, so daß vom Anfange der Ausbreitung der Feder bis zur gänzlichen Abspannung die Durchmesser der auf einander folgenden Haspelwellen, auf welche die Kette wirkt, stets größer werden. Diese Vermehrungen an den Hebelarmen erfolgen gleichzeitig und beinahe in demselben Verhältnisse, wie die Abnahmen in der Spannung der sich aus-

breitenden Feder, und darin hat man schon ein wichtiges Mittel, die Wirkung der Kraft einer Feder zu reguliren.

Aber wenn die Feder auf diese Weise sich selbst überlassen würde, so müßte sie sehr schnell den Zustand der Spannung verlassen und die Bewegung, welche sie dem Werkzeuge mittheilt, würde von sehr kurzer Dauer seyn; auch müßte diese Bewegung wegen der anhaltenden Wirkung der Feder an Geschwindigkeit stets etwas zunehmen. Die Feder würde sich in demselben Falle befinden, wie ein herabsinkendes Gewicht, welches beständig auf denselben Hebelarm einer Maschine mit derselben Kraft drückt und deshalb eine beschleunigende Bewegung erhalten muß.

Die Abspannnng oder Ausbreitung der Feder muß also verzögert werden, damit sie in den auf einander folgenden Zeittheilen der Bewegung immer gleichviel betrage. Dieses geschieht durch eine mechanische Zusammensetzung, derjenigen ähnlich, durch welche die beschleunigende Bewegung eines sinkenden Gewichtes vernichtet werden kann, nämlich durch ein Pendel oder durch eine Unruhe (vergleiche Art. 6). In Taschenuhren, welche durch die Ausbreitung einer Feder bewegt werden, wendet man für diesen Zweck eine Unruhe an; ihre Schwingungen müssen von gleicher Dauer seyn, und dieses hat man auf eine hinlänglich vollkommene Weise dadurch zu erreichen gewußt, daß man an die Welle der Unruhe das eine Ende einer sehr feinen Spiralfeder befestigt hat, deren anderes Ende durch einen festen Nagel geht. Diese Federn moderiren und reguliren die Schwingungen der Unruhe auf das Vollkommenste und bewirken, gleich dem Pendel in großen Uhrwerken oder in sogenannten Pendeluhren, daß bei jeder Schwingung nur ein Zahn des Steig-

rades an den Löffeln der Welle der Unruhe vorübergehen kann, wodurch alsdann die Ausbreitung der Feder jeden Augenblick auf dieselbe Weise beschränkt wird.

Federn leisten in Uhrwerken denselben Dienst wie Gewichte, geben aber der Zusammensetzung eine compendiösere Beschaffenheit; in sehr kleinen Werken, wo die Anwendung von Gewichten beinahe unmöglich seyn würde, können sie immer angewendet werden, jedoch im Großen geht dieses nicht an, weil dann die Anwendung von Gewichten, um den Maschinen, die keinen sehr geringen Widerstand darbieten, in Bewegung zu setzen, keineswegs auf sehr enge Grenzen beschränkt ist.

Drittes Kapitel.

Ueber die Kräfte von Menschen und Thieren; verschiedene Arten, wie sie zur Bewegung von Maschinen angewendet werden.

---

§. I.

Ueber die Kräfte von Menschen und Thieren im Allgemeinen; wie man dieselben zu beurtheilen hat, und auf welche Weise man sie in der Mechanik anwenden muß.

14) Der Gebrauch, den man von den Kräften der Menschen und Thiere macht, um Maschinen allerlei Art zu bewegen und dadurch eine Menge nützlicher Effecte zu erlangen, ist sehr mannichfaltig; ja es gibt keine bewegenden Kräfte von so allgemeiner Anwendung, oder aus welchen die Industrie

mehr Nutzen zieht, als aus den eben genannten Kräften; aber auf der andern Seite gibt es auch keine bewegenden Kräfte außer denen, welche durch Menschen und Thiere ausgeübt werden können, bei welchen man eine größere Verschiedenheit unter denselben Umständen wahrnimmt.

Wenn das Verfahren, Verschieben oder Bewegen von Lasten durch die Kräfte von Menschen bewirkt wird, so geschieht es bei weitem in den meisten Fällen durch Männer. Unter den Lastthieren, welche für denselben Zweck gebraucht werden, wendet man meistentheils Pferde an. Ueber die Kräfte von Männern und über diejenige von Pferden soll jetzt speciell gehandelt werden, weil die meisten Versuche, welche man angestellt hat, um das mittlere Maß der Kräfte von Menschen und Thieren zu bestimmen, und auf deren Ergebnisse man sich in der Anwendung verlassen kann, ausschließlich angestellt worden sind, um die Kräfte von Männern und Pferden in verschiedenen Fällen kennen zu lernen.

15) Es versteht sich von selbst, daß, wenn man die Kräfte des Mannes auf eine allgemeine Weise messen will, und zwar für den Zweck, um das mittlere Maß derselben zu erfahren, sie absolut in denselben Umständen sich befinden müssen. Um deshalb aus Versuchen dieser Art allgemeine oder nützliche Folgen ziehen zu können, müssen sie angestellt werden an vollwüchsigen Männern, die im Alter nicht zu sehr von einander verschieden, sondern von mittlern Jahren sind, eine gesunde Körperconstitution haben und mit keiner Mißbildung oder Gebrechlichkeit behaftet sind. Uebrigens müssen sehr große Verschiedenheiten in den Körperkräften der Männer bestehen, je nachdem sie

1) Stets gewohnt sind, dieselbe oder eine beständig verschiedene Arbeit zu verrichten; die Gewohnheit kann sie nur für eine bestimmte Ausübung der Kraft tauglich gemacht haben, so daß ihnen eine andere Arbeit, als sie zu verrichten gewohnt sind und zu welcher geringere Körperstärke erfordert wird, weit mühsamer zu verrichten ist.

2) Mit der besondern Lebensweise sind auch die Kräfte verschieden; eine mäßige Lebensweise gibt den Körperkräften Festigkeit und Beständigkeit, aber zur guten Erhaltung der Kräfte ist besonders eine gesunde Nahrung erforderlich, ohne welche auch die Lust und der Eifer zum Arbeiten nicht ausdauernd seyn können.

3) Das Klima oder die Beschaffenheit der Luft des Landes, in welchem man geboren ist, lebt oder sich aufhält, trägt hierzu auch sehr viel bei. So können z. B. die Bewohner warmer Länder eine Arbeit, an welche sie gewöhnt sind, nicht so anhaltend betreiben, wie die Bewohner der gemäßigtern Zonen dieses, und zwar mit geringerer Ermüdung, zu thun pflegen.

4) Die Verschiedenheit im Körperbau bewirkt auch großentheils, daß man merkliche Verschiedenheiten in den Kräften wahrnehmen muß, welche einige Männer, die übrigens gesund, stark und wohlgebaut sind (und die obendrein dieselbe Arbeit verrichten) ausüben können. So bewirkt z. B. eine kleine Verschiedenheit in der Breite der Brust und der Schultern häufig einen großen Unterschied in der Quantität der Kraft, welche anhaltend und auf eine regelmäßige Weise ausgeübt werden kann; und so kann es noch andere Ursachen geben, welche es mit einemmal unmöglich machen, die Kräfte eines Arbeiters nach denen eines andern richtig zu schäzzen. Aber dieses hindert nicht, über das Maß die-

ser Kräfte auf eine allgemeine Weise zu urtheilen, und die mittlern Ergebnisse aus Versuchen, die in verschiedenen Fällen angestellt sind, speciell zu benutzen, um damit Durchschnittsrechnungen anzustellen.

Dieselben Bemerkungen gelten auch hinsichtlich der Kräfte von Pferden, welche, je nach der verschiedenen Rasse, je nach ihrem Körperbau und je nach der Art, wie diese Thiere gefüttert und behandelt werden, gar sehr verschieden seyn können. Pferde von dieser oder jener Rasse werden nicht zu allen Arten der Arbeit auf gleiche Weise tauglich seyn, denn manche können sich schnell bewegen, andere können schwere Lasten ziehen, und wiederum andere schwere Lasten tragen. Pferde von einem schweren und groben Knochenbau, wie z. B. die Pferde aus der Gegend von Lüttich, eignen sich ganz besonders zum Ziehen sehr schwerer Lasten, jedoch verrichten sie dies Alles im Schritt. Eine geringere Last zu ziehen und zu gleicher Zeit im Trabe zu gehen, würde sie mehr ermüden, als die Postpferde. Mit schweren Ackerpferden verhält es sich auf dieselbe Weise. Man kann auch viele Pferde zur Ausführung von allerhand Arbeit geschickt machen, so daß sie Dienste leisten, für welche sie weniger tauglich sind, als andere Lastthiere, wie z. B. in gebirgigen Gegenden viele Pferde geübt sind, Berge zu erklimmen und an denselben herabzusteigen, ohne daß man bei ihnen eine größere Ermüdung bemerkt, als bei andern Pferden, welche gewohnt sind, auf ebenen Wegen zu gehen.

16) Bei einer anhaltenden Arbeit von Menschen oder Thieren muß auf drei Dinge Rücksicht genommen werden:

1) Auf die Größe oder Schwierigkeit der Arbeit, d. h. auf den Druck, welcher durch diese bewegenden Kräfte ausgeübt werden muß;

2) Auf die Geschwindigkeit, mit welcher sie ihren Körper oder einige Theile ihres Körpers bewegen müssen;

3) Auf die Zeit, während welcher sie thätig seyn müssen.

Man erschöpft deshalb die Kräfte von Menschen oder Thieren, wenn man einen oder mehrere der drei oben genannten Dinge zu groß nimmt, denn für jede Art von Arbeit kann ein Mensch oder ein Thier nur einen bestimmten Druck ausüben, dabei nur eine bestimmte Geschwindigkeit annehmen, und dieses auch nur auf eine bestimmte Zeit anhaltend verrichten. Man muß deshalb den Druck, die Geschwindigkeit und die Zeit der Arbeit so vertheilen, daß man ohne übermäßige Anstrengung, ohne die geringste Ermattung den meisten Vortheil von den Leistungen der Menschen oder Thiere zieht.

Die Quantität der Wirkung ergibt sich aus der Quantität des ausgeübten Druckes, multiplicirt mit der mitgetheilten Geschwindigkeit, und nachdem dieses Product auch noch mit der Anzahl der Augenblicke multiplicirt worden ist, während welcher die Arbeit verrichtet wird, bekommt man natürlich die Quantität der Wirkung, welche während dieser Zeit ausgeübt worden ist. Ist diese Zeit der Zahl der täglichen Arbeitsstunden gleich, so nennt man die Quantität der verrichteten Arbeit tägliche Quantität der Arbeit, und hat man nun den Druck, die Geschwindigkeit und die Arbeitszeit so regulirt, daß das Product dieser drei Zahlen, welche die Quantität dieser Größen vorstellen, das größtmögliche ist, so hat man eine größte tägliche Quantität der Arbeit, und dann bekommt man durch die genannten Kräfte einen größten Effect, oder einen größten Nutzen.

Dabei berücksichtige man jedoch, daß die Regulirung der genannten drei Dinge der Erfahrung entsprechend geschehen müsse, so daß die Arbeit bei einer Fortdauer derselben ohne Erschöpfung von Kräften fortgesetzt und zu Ende geführt werden kann.

Um die Kräfte von Menschen und Thieren vergleichen und daraus beurtheilen zu können, bei welcher Art von Arbeit ihre Leistung mehr oder weniger beträgt, muß man sie auf einerlei Einheit des Maßes reduciren. Gewöhnlich setzt man dafür die Zahl Pfunde, welche während der Arbeitszeit eine Elle hoch gehoben werden können. Diese Art von Arbeit, nämlich das Heben von Gewichten (die z. B. an einem Seile befestigt sind, welches über eine Leitrolle läuft) wird dann als Maß angenommen, mit welchem man die Quantität der Kraft oder der Wirkung mißt, welche bei einer andern Leistung oder Thätigkeit ausgeübt wird. Doch betrachte man dieses blos als einen Maßstab; denn anzunehmen, daß die Kraft eines Mannes oder Pferdes immer und mit gleich großer Leichtigkeit zum Heben von Gewichten, wie zur Ausführung irgend einer andern Arbeit angewendet werden könne, würde mit der Natur der Sache oder mit der Erfahrung streiten. Wenn z. B. ein Arbeiter an den Armen einer Schiffswinde arbeitend, sich mit 0,6 Ellen Geschwindigkeit bewegen kann, dabei einen Druck von 15 Pfund auf die Arme ausübt, und diese Arbeit mit den erforderlichen Ruhepunkten 7 Stunden täglich auszuhalten vermag, so kann man theoretisch sagen: 15 Pfund in 1 Sekunde um 6 Palmen fortzubewegen, oder 9 Pfund in 1 Sekunde 1 Elle fortzubewegen, kommt ganz auf eins hinaus (weil 9×10 so viel ist 15×6, nämlich $= 90$); diese Arbeit wird nun 7 Stunden lang oder 25200 Sekunden täglich verrichtet; die

9 Pfunde werden deshalb um 1 × 25200 Ellen fortbewegt, oder umgekehrt, es werden 9 × 25200 Pfund um 1 Elle fortbewegt oder gehoben. Die Quantität der täglichen Arbeit kommt also völlig auf eins hinaus mit dem Heben von 226800 Pfund auf 1 Elle Höhe, oder mit dem Heben von beinahe 227 Pfund auf 1 Meile Höhe.

Nun würde ein Arbeiter die 226800 Pfund zwar nicht können bewegen, wenn dieses Gewicht unmittelbar auf die Schiffswinde drückt, aber welcher Effect sich auch mit der Schiffswinde ausrichten läßt, so kann man doch annehmen, daß die Schiffswinde mit Hilfe von Rädern, Schrauben ohne Ende u. s. w. so auf einen Haspel wirkt, an welchem die 226800 Pfund hängen, daß diese in 7 Stunden nur um 1 Elle fortbewegt werden, und daß der Druck auf die Hebelarme nicht mehr als 15 Pfund zu betragen braucht, während die Geschwindigkeit der bewegenden Kraft 6 Palmen beträgt. Auf diese Weise wird dann die ausgeübte Kraft in Allem gleich seyn einer Last von 226800 Pfunden 1 Elle hoch gehoben, und in diesem Sinne kann man sich der obigen Rechnungsweise bedienen, als eines Mittels, um verschiedene Kraftausübungen auf dieselbe Einheit des Maßes zurückzuführen.

17) Um eine gewisse Arbeit zu verrichten, eine Last oder eine Maschine u. s. w. zu bewegen, bedient man sich eher der Menschen, als der Thiere, und zwar aus folgenden Gründen:

1) Weil sie weniger Platz einnehmen;

2) Weil die Maschinen oder Werkzeuge, mit Hilfe welcher sie ihre Kraft auf eine Maschine fortpflanzen, meistentheils sehr einfach, zum wenigsten von geringem Umfange sind;

3) Weil der Bau ihres Körpers sie in den Stand setzt, vielerlei Bewegungen mit Leichtigkeit auszuführen, und dadurch allerhand Arten der Arbeiten zu verrichten;

4) Weil sie mit Urtheil und Ueberlegung begabt sind, wodurch sie Gelegenheit finden, um die Ausführung einer Arbeit sehr abzukürzen, sich viele Schwierigkeit zu ersparen und auf diese Weise mit wenig Anstrengung häufig große Wirkungen hervorzurufen.

Die Thiere und vorzugsweise die Pferde verdienen allein wegen größerer Kraft und wegen der Fähigkeit, sich schnell bewegen zu können, den Vorzug. Man bedient sich derselben nun da, wo große Lasten bewegt, fortgeschafft oder transportirt werden müssen, und wo dieses in kurzer Zeit geschehen muß. Man ist hierin jedoch nicht selten beschränkt und auch wohl wegen örtlicher Umstände gehindert, so wie auch durch die bestimmte Art und Richtung, in welcher Pferde ihre Kraft mit Nutzen ausüben können. Allgemeine Vorschriften können hierüber nicht gegeben werden, was auch von weniger großem Belang ist, da man in jedem Falle sehr leicht beurtheilen und berechnen kann, welche dieser Kräfte angewendet werden müsse, um entweder für eine kurzdauernde oder für eine anhaltende Arbeit einen bestimmten Effect auf die beste und vortheilhafteste Weise zu erlangen.

Bei den meisten Werkzeugen oder Maschinen ist die Regelmäßigkeit der Bewegung von sehr großem Einfluß auf den gehörigen Effect, und von dieser Seite sind die Kräfte der Menschen und Thiere unter allen bewegenden Kräften die unvollkommensten, da ihre Wirkung sehr ungleichförmig, oder von Augenblick zu Augenblick veränderlich ist. Es sind hier wieder die Art der Arbeit, die Dauer derselben,

die Größe des zu überwindenden Widerstandes, die Umstände des Ortes, der Mittel und besondere Zwecke, aus welchen sich unmittelbar ergeben muß, oder durch deren Berücksichtigung man beurtheilen kann, in wiefern die Anwendung der Kräfte von Menschen oder Thieren den Vorzug habe vor mächtigern Naturkräften, wie z. B. vor denen des Wassers, des Windes oder des Dampfes. Diese drei letzten Kräfte können aus drei Hauptgründen den Vorzug erlangen vor ersteren:

1) Wegen größerer Wohlfeilheit, indem die Bezahlung einer gewissen Menge von Arbeitern oder die Unterhaltung einer gewissen Zahl von Pferden, Mauleseln u. s. w., die benutzt werden, um Maschinen u. s. w. in Bewegung zu setzen, auf die Dauer mehr Ausgaben herbeiführen können, als man für die Aufstellung und für den Unterhalt einer Maschine bedarf, welche durch Wasser-, Wind- oder Dampfkraft getrieben wird und andern arbeitenden Maschinen Bewegung mittheilt.

2) Wegen der beschränkten Zeit, während welcher Menschen oder Thiere ohne Ermattung regelmäßig wirken können, wodurch man also für eine anhaltende Arbeit ihre Anzahl aufs Wenigste verdoppeln muß, damit sie einander in der Arbeit ersetzen können.

3) Wegen der Beschränktheit ihrer Kräfte, weshalb häufig unbesiegbare Schwierigkeiten vorkommen können, um die erforderliche Zahl Arbeiter oder Pferde gehörig auf eine Maschine wirken zu lassen, wenn auch der Ort für eine große Zahl derselben keine Behinderungen darbietet.

§. II.

Angaben der mittlern Druck- und Bewegkräfte, welche durch Männer oder Arbeiter auf verschiedene Weise ausgeübt werden können.

18) Es ist hier nicht der Zweck, einige Angaben über die Größe der Kraft oder des Druckes zu machen, welcher durch Männer von mittlerer Stärke in verschiedenen Stellungen des Körpers ausgeübt werden kann, oder Angaben über die größten Geschwindigkeiten aufzustellen, mit welchen sie sich unbelastet bewegen können, da diese Angaben für die Anwendung der Mechanik nicht vom geringsten Belang sind.

Ein Mann von einer gehörig proportionirten Gestalt wiegt im Durchschnitt 70 Niederl. Pfund; darum kann er durch sein Gewicht kein größeres Gewicht als 70 Pfund äquilibriren. Er wird jedoch ein größeres Gewicht tragen können, wenn er seinen Körper in eine feste Stellung bringen und zugleich Muskelkraft, um zu ziehen, oder um zu drücken, ausüben kann. Das Ziehen kann im Allgemeinen mit mehr Kraft und auf eine längere Zeit ausgeübt werden, als das Drücken.

Der gewöhnliche Schritt eines Fußgängers beträgt 7 bis 8 Palmen; er ist im Stande, ohne Ermattung zwischen 40 und 50 Meilen (die Meile zu 1000 niederländischen Ellen gerechnet) täglich auf einem ebenen Boden und ohne eine Last zu tragen, zurückzulegen.

a) Ein Träger kann mit dem nöthigen Ausruhen oder wenn er ununterbrochen eine Last von 70 Pfund auf eine Entfernung von 36 Ellen trägt und dann unbelastet zurückkehrt, diese Arbeit täglich 8 Stunden lang verrichten. Muß er fortdauernd die Last auf dem Rücken tragen, ohne daß ihm die-

selbe zu Zeiten abgenommen wird, so kann man diese Last im Durchschnitte höchstens auf 40 Pfund, die Geschwindigkeit seiner Bewegung in der Sekunde auf $7\frac{1}{2}$ Palmen, und die Zahl der täglichen Arbeitsstunden auf 7 Stunden setzen.

---

b) Ein Schubkärner kann mit einem Schubkarren eine Last von 60 — 65 Niederl. Pfd. mit einer Geschwindigkeit von 0,5 Ellen 10 Stunden des Tages hindurch auf eine Entfernung von 30 Ellen transportiren, wenn er jedesmal, nachdem er diesen Weg zurückgelegt hat, mit dem unbeladenen Schubkarren zurückkehrt; er transportirt deshalb jedesmal eine Last von 60 bis 65 Pfund auf die Entfernung von 30 Ellen in 1 Minute, oder 1800 bis 1950 Pfund 1 Elle weit in 1 Minute; und da er diese Wirkung nur 5 Stunden lang leistet, oder 300 Minuten lang, so wird die ganze Quantität der Wirkung seyn:

1800 × 300 Pfund = 540000 Pfund 1 Elle weit transportirt,
oder 540 Pfund 1 Meile weit transportirt,
oder 585 Pfund 1 Meile weit transportirt wenn die Ladung 65 Pfund betrug.

---

c) Ein Schubkärner, welcher einen zweiräderigen Schubkarren auf ebenem Boden fährt, kann nur mit einer Kraft von 20 Niederl. Pfd. schieben, sich dabei mit einer Geschwindigkeit von 0,5 Ellen bewegen und diese Arbeit täglich 8 Stunden lang fortsetzen. Er verwendet seine Druckkraft allein, um die Reibung der Räder am Boden zu überwinden, und da man die Reibung zwischen $\frac{1}{7}$ und $\frac{1}{8}$ des Druckes setzen muß, so kann die Last, die trans-

portirt wird, 150 Niederl. Pfund betragen. Diese 150 Pfund werden in zwei Sekunden 1 Elle weit und deshalb in 8 Stunden 14400 Ellen oder 14,4 Meilen weit transportirt, was einerlei ist mit
2160 Pfund auf 1 Meile weit transportirt.

Diese Kraft ist nun das Vierfache der vorhergehenden; aber in dem vorhergehenden Falle geht auch die Hälfte der Arbeitszeit verloren.

---

d) Ein Arbeiter, welcher einen Schlitten über einen holprichten Boden fortzieht, kann täglich mit diesem Schlitten 24mal einen Weg von 290 Ellen hin und her zurücklegen, während die Ladung hinwärts 90 Niederl. Pfund beträgt. Er kann also täglich eine Kraft ausüben, derjenigen gleich, welche erforderlich ist, um
627 Pfund 1 Meile weit zu transportiren.

---

e) Ein Arbeiter, welcher mit einem Joche eine Last fortzieht, kann auf eine sehr kurze Zeit eine Druckkraft von 50—60 Niederl. Pfund ausüben; um diese Arbeit 6 Stunden des Tages hindurch zu verrichten, kann er nur einen mittlern Druck von 14 Pfund mit einer Geschwindigkeit von 0,7 Ellen ausüben, was eine tägliche Quantität der Wirkung gibt von
191 Pfund auf 1 Meile weit transportirt.

Für einen kleinen Wagen mit vier Rädern, welcher auf einem ebenen Wege bequem fortrollt, während das Zugseil des Arbeiters keinen zu großen Winkel mit dem Horizonte macht, wird der Effect betragen
1150 Pfund 1 Meile weit transportirt.

Wenn die Kraft angewendet wird, um ein belastetes Fuhrwerk zu transportiren oder fortzubewe-

gen, kann man den Nutzeffect, d. h. die Last, welche durch das Fuhrwerk fortbewegt wird, wohl 800mal größer annehmen.

---

f) Ein Mann kann täglich 8 Stunden eine Treppe steigen, welche nicht zu steil ist, z. B. $\frac{7}{8}$ auf 1. Er hebt deshalb 8 Stunden hindurch Niederl. 70 Pfund als Gewicht seines Körpers und zwar mit einer Geschwindigkeit von 0,15 Ellen in der Sekunde; hieraus kann man berechnen, daß die ganze Quantität seiner Wirkung gleich kommt

300000 Pfund 1 Elle hoch gehoben,
oder 300 Pfund 1 Meile hoch gehoben.

g) Wenn er mit 50 Pfund belastet ist und jedesmal unbelastet die Treppe herabsteigt, so wird er während 5 Stunden des Tages eine nützliche Quantität der Wirkung geben können von

67500 Pfund 1 Elle hoch gehoben,

worunter also das Gewicht seines Körpers nicht mit begriffen ist. Für diese Art von Arbeit sind jedoch wenig Menschen auf die Dauer tauglich.

---

h) Die Arbeiter an einem Rammblocke, den sie mit einer Geschwindigkeit von 0,366 Ellen in der Sekunde 11 Palmen hoch heben, können am Zugseile keine größere Kraft als von 19 Niederl. Pfund ausüben, während sie beständig ausruhen oder abgelöst werden müssen. Alles zusammengenommen müssen sie täglich 3 Stunden anhaltend arbeiten, und die Quantität der Wirkung wird betragen

75000 Pfund 1 Elle hoch gehoben.

Diese Arbeit kann jedoch schwerlich fortdauernd geleistet werden.

i) Die Arbeit kann anhaltend verrichtet werden, wenn die Höhe, bis zu welcher der Rammklotz gehoben werden muß, kleiner ist; denn alsdann brauchen sich die Arbeiter weniger zu bücken; aber die Quantität der Wirkung wird dann natürlich auch kleiner. Beträgt die Höhe z. B. 4 Palmen, so muß die genannte Quantität durch eine anhaltende tägliche Arbeit werden:

40000 Pfund 1 Elle hoch gehoben.

---

k) Die Kraft eines Arbeiters, der mittelst eines über eine Rolle geschlagenen Seiles eine Last hebt (z. B. Wasser aus einem Brunnen), während er Gelegenheit hat, jedesmal seine Hände an einen höhern Theil des Seiles zu bringen, so daß er sich nicht viel zu bücken braucht, kann man für eine Arbeit von einigen Tagen zu 18 Niederl. Pfund mit einer Geschwindigkeit von 0,2 Palmen annehmen. Diese Arbeit 7 Stunden lang täglich fortgesetzt, von welcher Zeit die Hälfte mit dem abwechselnden Niedersteigen des Seiles verloren geht, gibt eine Quantität der Wirkung von

45360 Pfund 1 Elle hoch gehoben.

Für eine kurz dauernde Arbeit eines Mannes, der an Seilrollen arbeitet, kann man die Kraft desselben zu 16 Niederl. Pfund Druck mit 0,4 Ellen Geschwindigkeit annehmen, und im Durchschnitte zu 14 Pfd. mit 0,4 Ellen Geschwindigkeit, was dann eine Quantität der Wirkung gibt von

60480 Pfund 1 Elle hoch gehoben.

Anmerk. Man kann von den Kräften, welche auf diese Weise durch Arbeiter ausgeübt werden, mehr Nutzen ziehen, wenn man die Arbeiter mehr als gewöhnlich ausruhen und durch andere ersetzen

läßt, denn alsdann können sie eine größere Zahl von Stunden des Tages thätig seyn.

---

l) Ein Arbeiter, welcher an einer Pumpe angestellt ist, übt während 8 Stunden des Tages eine Kraft von 14 bis 15 Niederl. Pfunden mit einer Geschwindigkeit von 0,4 Ellen aus und gibt folglich eine Quantität der Wirkung von

86400 Pfund 1 Elle hoch gehoben.

---

m) Ein Arbeiter, der als Ruderer arbeitet, übt mit einem Drucke von reichlich 20 Niederl. Pfunden und einer Geschwindigkeit von 0,5 Ellen 8 Stunden täglich eine Quantität der Wirkung aus von beinahe

150000 Pfund 1 Elle hoch gehoben.

---

n) Die tägliche Quantität der Wirkung eines Arbeiters, der an den Armen einer Schiffswinde drückt oder zieht, beträgt

211680 Pfund 1 Elle hoch gehoben,

den Arbeitstag außer dem beständig nöthigen Ausruhen zu 7 Stunden, den Druck im Durchschnitt zu Niederl. 14 Pfunden und die Geschwindigkeit zu 0,6 Pfund gerechnet. Diese Druckkraft kann bei einigen Arbeitern häufig bis auf Niederl. 20 Pfund steigen, aber wenn viele Arbeiter an den Haspelarmen arbeiten, so gibt es immer welche darunter, die wegen eines größern oder geringern Druckes und Geschwindigkeit die Kraft anderer behindern, und der mittlere Druck wird also nicht höher, als bis 14 Pfund gehen. Für eine kurz dauernde Arbeit weniger Arbeiter, die z. B. mit einer sogenannten Schiffswinde eine Schleusenthür öffnen oder schließen, kann man die Druckkraft auf 18 Pfund annehmen, ja sogar auf

20, wenn es auf die Geschwindigkeit der Bewegung nicht ankommt.

---

o) An einer Kurbel, oder an einem Schwengel kann ein Arbeiter auf eine kurze Zeit einen Druck von 12 — 13 Niederl. Pfunden mit einer Geschwindigkeit von einer Elle in der Sekunde ausüben, während die Kurbel einen Halbmesser, oder eine Länge von 3,5 Palmen besitzt; jedoch für eine anhaltende Arbeit muß man den Druck auf 7 Pfund, die Geschwindigkeit auf 0,75 Ellen, und die Zahl der täglichen Arbeitsstunden auf 8 setzen, woraus eine tägliche Quantität der Wirkung hervorgeht von

151200 Pfund 1 Elle hoch gehoben.

---

p) Ein Arbeiter, der in einem Tretrade arbeitet, übt durch sein Gewicht von 70 Niederl. Pfunden, welches in der Richtung des Radumfanges zerlegt wird, nur einen Druck von 12 Pfunden aus; er bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 0,7 Ellen und gibt deshalb in 8 Stunden eine Quantität der Wirkung von

241920 Pfunden 1 Elle hoch gehoben;

aber die Ausführung dieser Art von Arbeit ist sehr beschwerlich und kann deshalb nicht lange ausgehalten werden.

q) Läuft der Arbeiter an dem äußern Umfange eines Tretrades, so übt er durch sein Gewicht einen Druck von 70 Niederl. Pfunden aus; er bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 0,15 Ellen und ist anhaltend im Stande, diese Arbeit 7 Stunden des Tages auszuüben, weshalb die Quantität der Wirkung betragen wird

264600 Pfund 1 Elle hoch gehoben.

---

19) Von diesen Angaben kann man in Durchschnittsberechnungen, besonders wenn sie auf eine große Anzahl von Arbeitsleuten anwendbar seyn sollen, sicher Gebrauch machen. Muß man jedoch genau wissen, welche Kraft durch diesen oder jenen Arbeiter ausgeübt wird, so ist es immer rathsam, die Erfahrung unmittelbar zu Rathe zu ziehen.

Die Geschwindigkeit, welche ein Arbeiter dem Theile des Werkzeuges mittheilt, auf welchen er unmittelbar drückt, muß durch eine wirkliche Beobachtung bekannt werden; aber dieses ist nicht immer möglich mit dem Drucke, welchen er ausübt. Wird durch das Werkzeug eine Last gehoben, deren Schwere, oder Widerstand, genau in Pfunden bekannt ist, so ist es auch sehr leicht, mit Hilfe der im I. Theile, Abth. II. entwickelten Regeln zu berechnen, wie groß der Druck der Kraft ist, die mit der genannten Last das Gleichgewicht herstellt.

Ist der Widerstand der Last nicht von der Art, daß man ihn sehr genau kennt (wie es z. B. der Fall ist bei dem Getreidemahlen auf einer Handmühle, wo man nur im Durchschnitte weiß, welche Kraft zu dieser Arbeit erfordert wird), so gibt es zwei Mittel, um diesen Widerstand so genau wie möglich kennen zu lernen:

1) Indem man an die Stelle des Werkzeugs einen Haspel, oder eine andere Maschine bringt, welche durch die bewegende Kraft auf dieselbe Weise bewegt wird, als die fragliche Maschine, und dieselbe dann durch Versuche mit einem solchen Gewicht beschwert, daß die Kraft zur Bewegung derselben dasselbe Druckvermögen mit derselben Geschwindigkeit ausübt, als sie bei der fraglichen Maschine anwenden muß. Dadurch ist man dann im Stande, die Größe des Druckes der Kraft zu berechnen.

2) Besitzt man eine Federwaage Fig. 13, so kann man unmittelbar die Druckkraft, oder Zugkraft bestimmen, wenn man dieses Instrument an die fragliche Maschine bringt und zwar an den Wirkungspunkt der Kraft, so daß diese unmittelbar auf die Waage und nicht unmittelbar auf die Maschine wirkt. Der Druck wird dann natürlich durch den Zeiger der Waage angegeben. Die Waage ist in diesem Falle ein wahrer Kraftmesser (Dynamometer). Man benutzt sie in dieser Hinsicht sowohl, um die Druckkraft von Menschen, als von Pferden und anderen Last- oder Zugthieren, zu messen.

Der größte Theil der Kraftäußerungen, um Lasten zu transportiren oder fortzubewegen, oder um Maschinen in Gang zu setzen, kommt von Männern her, jedoch verrichten auch Weiber manchmal ähnliche Arbeiten. Einige Versuche haben ziemlich genau das Resultat gegeben, daß man in vielen Fällen die Kräfte der Weiber = $\frac{2}{3}$ der Kräfte der Männer und vollkommen gleich den Kräften von Jünglingen setzen könne, die 15 bis 17 Jahre alt und an Arbeit bereits gewöhnt sind.

20) Um die vorausgeschickten Angaben für den Gebrauch bequem übersehen zu können, sind sie in folgender Tabelle zusammengestellt.

Art der verrichteten Arbeit.	Ausgeübter Druck oder getragenes Gewicht in Niederländischen Pfunden.	Geschwindigkeit der Bewegung auf die Sekunde in Ellen.	Quantität der Wirkung auf die Minute in Pfunden 1 Elle weit transportirt oder gehoben.	Tägliche Arbeitszeit in Stunden.	Quantität der Wirkung auf den Tag, in Pfunden ausgedrückt, 1 Elle hoch gehoben, oder so weit transportirt.
a) Ein Träger, welcher anhaltend eine Last auf dem Rücken fortträgt .	40	0,75	1800	7	756000
b) Ein Schubkärner, welcher auf einem Schubkarren eine Last 30 Ellen weit transportirt . .	60	0,5	1800	10	540000
c) Ein Schubkärner, welcher mit einem zweirädrigen Karren Lasten auf ebenem Boden transportirt	150	0,5	4500	8	2160000
Aber die eigentliche Kraft, welche der Schubkärner anwenden kann, beträgt nur	20	0,5	600	8	288000
d) Ein Arbeiter, welcher einen Schlitten auf holprichtem Boden zieht	90	0,27	1458	7	627000
e) Ein Arbeiter, welcher mit einem Joch eine Last fortzieht	14	0,7	588	6	191680
f) Ein Mann, welcher gegen eine sanfte Anhöhe geht, oder unbelastet eine bequeme Treppe steigt .	70	0,13	630	8	302400
g) Ein Mann, der belastet ist mit 50 Pfunden, ohne das Gewicht seines Körpers zu rechnen . .	50	0,15	450	5	67500

Art der verrichteten Arbeit.	Ausgeübter Druck oder getragenes Gewicht in Niederländischen Pfunden.	Geschwindigkeit der Bewegung auf die Sekunde in Ellen.	Quantität der Wirkung auf die Minute in Pfunden 1 Elle weit transportirt oder gehoben.	Tägliche Arbeitszeit in Stunden.	Quantität der Wirkung auf den Tag, in Pfunden ausgedrückt, 1 Elle hoch gehoben, oder so weit transportirt.
h) Die Arbeiter an einem Rammblock für eine nicht anhaltende oder tägliche Arbeit	19	0,366	42	3	75000
i) Ein Arbeiter, welcher ein Gewicht mittelst einer Rolle hebt, während das Seil unbeschwert niedergelassen wird . .	18	0,2	216	7	45360
Ein Mann, welcher an einem Flaschenzuge arbeitet	14	0,4	336	6	60480
k) Ein Arbeiter an einer Pumpe	15	0,4	360	8	86400
l) Ein Arbeiter, welcher rudert	21	0,5	630	8	150000
m) Ein Arbeiter, welcher an den Armen einer Schiffswinde arbeitet .	14	0,6	504	7	211680
n) Ein Arbeiter, welcher an einer Kurbel arbeitet	7	0,75	315	8	151200
o) Ein Arbeiter, welcher in einem Tretrade läuft	12	0,7	504	8	241920
p) Ein Arbeiter, welcher am Umfange eines Tretrades arbeitet . .	70	0,15	630	7	264600

§. III.

Angabe der mittlern Kräfte von Pferden u. s. w.

21) Das Gewicht eines mittelmäßig großen Pferdes beträgt 225 bis 250 Niederl. Pfund.

Die absolute Druck- oder Zugkraft, welche ein Pferd ausüben kann, oder vielmehr das Gewicht, welches dasselbe für wenige Augenblicke auf einer Seilrolle tragen kann, ohne Bewegung mitzutheilen, kann von 250 bis zu 400 Niederl. Pfund betragen.

Die mittlere Geschwindigkeit, mit welcher ein Pferd fortschreitet, beträgt

im langsamen Schritt 0,8 Ellen bis 1 Elle;
im raschen Schritt 1,66 Ellen;
im Trab 2,2 Ellen bis 3,5 Ellen;
im Gallop 5,5 Ellen.

a) Ein Pferd kann mit seinem Reiter, welcher mit Sattel, Mantelsack u. s. w. 80 Niederländische Pfunde wiegt, täglich 7 bis 8 Stunden mit einer mittlern Geschwindigkeit von 1,5 Ellen sich fortbewegen. Es legt also 40½ Meile zurück und übt eine tägliche Quantität der Wirkung aus, welche gleichkommt

3240 Pfund 1 Meile weit transportirt.

b) Mit einer Last von 120 Pfunden und einer Geschwindigkeit von 1,1 Elle im Schritt, kann ein Pferd täglich 10 Stunden lang sich bewegen; deshalb beträgt die tägliche Quantität der Wirkung

4752 Pfund 1 Meile weit transportirt.

---

c) Frachtwagen belastet man gewöhnlich aufs Pferd mit 750 Niederländischen Pfunden; das Pferd zieht dieses Gewicht (worunter dasjenige des Wagens nicht mit begriffen ist) auf einem guten ebenen

Wege mit einer Geschwindigkeit von 1,3 Ellen 8 Stunden täglich und übt eine Kraft oder eine sogenannte Zugkraft von 125 Pfunden aus. Dieses gibt für die Quantität der täglichen Wirkung

28080 Pfund 1 Meile weit transportirt,

und für die ausgeübte Kraft

4580 Pfund 1 Meile weit transportirt.

d) Man nimmt an, daß ein gutes Ackerpferd eine Kraft von 80 Niederl. Pfd. ausübt und täglich 26 Meilen zurücklegt, was also eine Quantität der Wirkung von

2080 Pfund 1 Meile weit transportirt gibt.

Anmerk. Wegen der größern Schwierigkeit, ein Pferd am Pfluge so vortheilhaft zu benutzen, als an einem Frachtwagen, und wegen der Schwierigkeit des Ackerbodens gewährt es an diesem Werkzeuge auch einen geringern Nutzeffect, als am Frachtwagen.

Man muß übrigens bemerken, daß die unter d und weiter unten unter f rc. erwähnten Pferdekräfte zwar die sogenannten mittlern Kräfte ausdrükken, daß man aber dennoch in der Praxis jederzeit wohlthun wird, dieselben als größte Kräfte zu betrachten und also in Berechnungen um $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{8}$ noch unter denselben zu bleiben.

e) Fuhrwerk, wie z. B. Postwagen, kann man nicht gut mit mehr, als 350 Niederl. Pfd. aufs Pferd belasten. Gute Postpferde bewegen dann einen solchen Wagen mit einer Geschwindigkeit von 2,2 Ellen im Trabe; sie ziehen mit einer mittlern Kraft von 90 Pfunden 4 — 4½ Stunde täglich (worunter die Ruhestunden nicht begriffen sind). Die tägliche Quantität der Wirkung wird deshalb betragen

12475 Pfund 1 Meile weit transportirt,

und die wirklich ausgeübte Kraft beträgt

3208 Pfund 1 Meile weit transportirt.

f) Ein Pferd, welches 4 oder 5 Stunden täglich in einer Mühle läuft, zieht mit einer Kraft von 100 Niederl. Pfd., während es im Schritte mit einer Geschwindigkeit von 0,8 sich fortbewegt. Nimmt man nun die Arbeitszeit nur zu 8 Stunden an, so daß das Pferd von je zwei Stunden nur eine Stunde arbeitet, so beträgt die Quantität der Wirkung

1152 Pfund 1 Meile hoch gehoben.

Manchmal arbeitet ein Pferd 8 Stunden täglich in einer Mühle, aber man kann seine Zugkraft dann nur zu 50 Pfund rechnen, so daß die eigentliche tägliche Quantität der Wirkung dieselbe bleibt. Man bemerke ferner, daß die Bewegung im Kreise und das Ziehen in einer solchen Mühle ein Pferd viel mehr ermatten müsse, als wenn es auf einem geraden Wege fortschreitet und sich also nicht jeden Augenblick zu wenden braucht; darum ist die Quantität der Wirkung hier auch viel kleiner, als diejenige, welche oben unter §. I. c angegeben ist. Sie wird in Mühlen mit einem kleinen Mühlenpfade noch geringer werden; aber man kann von einem Pferde auch mehr erwarten, wenn der Durchmesser des Mühlenpfades so groß genommen ist, daß die Wendungen unmerklich werden, was z. B. in einem geringen Maße stattfinden wird, wenn der genannte Durchmesser 12 Ellen und drüber beträgt.

g) Ein Pferd, welches täglich $4\frac{1}{2}$ Stunde im Trabe läuft, d. h. mit einer Geschwindigkeit von zwei Ellen in einer mittelmäßig großen Mühle, zieht nur mit einer Kraft von 30 Niederl. Pfunden und gibt also eine Quantität der Wirkung

972 Pfund 1 Meile hoch gehoben.

Der Zweck, den man vor Augen haben kann, indem man ein Pferd in einer Mühle im Trabe gehen läßt, kann allein darin bestehen, daß man einer Maschine unmittelbar die erforderliche Geschwindig-

keit ohne Hilfe von besonderem Räderwerk geben will. Es wird indessen in den meisten Fällen besser seyn, Räderwerk dazu anzuwenden, und zwar

1) weil das Pferd, wenn es alsdann im Schritte sich bewegt, eine größere Quantität der Wirkung leisten und also auch einen größern Nutzeffect gewähren kann;

2) wird die Maschine viel weniger zu leiden haben, wenn das Pferd im Schritte geht, indem die Stöße und Drucke während des Trabens sehr heftig seyn können.

h) Die Kraft der Maschinen, welche durch Wasser-, Wind- oder Dampfkraft getrieben werden, drückt man manchmal in Pferdekräften aus, wie in der Folge näher entwickelt werden soll. Man kann nun die Kraft eines Pferdes zu 76 Niederl. Pfund 1 Elle hoch in der Sekunde gehoben, annehmen, was einerlei ist mit

4560 Pfund 1 Elle hoch in der Minute gehoben.

Die französischen Mechaniker nehmen diese Kraft an zu 4166,6 Pfund 1 Elle hoch in der Minute gehoben; dagegen einige englische Mechaniker zu 4416 Pfund 1 Elle hoch in der Minute gehoben.

22) Um die Druck- und Zugkraft der Pferde an Maschinen zu messen, bedient man sich eines Kraftmessers oder Dynamometers, wie in Art. 19 bereits gesagt worden ist, und hängt denselben für diesen Zweck an die Deichsel, oder an die Waage. Ist man nicht im Besitz eines solchen Instruments, und ist es nothwendig die absolute Kraft zu kennen, welche ein Pferd an einer Maschine ausübt, wenn man sich der oben angeführten mittlern Angaben nicht bedienen kann; oder wird eine Maschine durch zwei oder mehr Pferde, die nicht an demselben Baume

ziehen, in Bewegung gesetzt, so daß man eben so viele Dynamometer haben muß, als Pferde angespannt sind, um ihre gleichzeitig ausgeübte Kraft so genau wie möglich messen zu können, so muß man in dergleichen Fällen andere Werkzeuge anwenden, die geeignet und besonders dazu eingerichtet sind, den Widerstand einer Last zu messen, die mit einer Maschine, welche durch Wasser-, Wind- oder Dampfkraft bewegt wird, überwunden werden soll (es wird nämlich vorausgesetzt, daß der wirkliche Widerstand dieser Last nicht durch unmittelbare Berechnung, sondern allein durch Versuche zu bestimmen ist; denn kennt man den Druck oder den Widerstand der Last, so ist man zugleich auch im Stande, nach den einfachen Grundsätzen des Gleichgewichtes und der Bewegung der Maschinen den Druck zu berechnen, welcher durch die Kraft ausgeübt wird). Da es für jetzt, wie auch für die Folge von Belang seyn kann, die Einrichtung eines solchen Apparates zu kennen, so dürfte es nicht unzweckmäßig seyn, in einem folgenden Paragraphen dessen Einrichtung und Gebrauch zu erklären.

23) Die folgende Tabelle enthält in einer kurzen Zusammenstellung das Hauptsächliche der obigen Angaben.

Art der verrichteten Arbeit.	Ausgeübter Zug oder getragenes Gewicht in Niederländischen Pfunden.	Geschwindigkeit der Bewegung auf die Sekunde in Ellen.	Quantität der Wirkung auf die Minute in Pfunden 1 Elle weit transportirt oder gehoben.	Tägliche Arbeitszeit in Stunden.	Quantität der Wirkung auf den Tag, in Pfunden ausgedrückt, 1 Elle hoch gehoben, oder so weit transportirt.
a) Ein Pferd, welches einen Reiter auf ebenem Wege trägt (dessen eigenes Gewicht nicht zu demjenigen seiner Last gerechnet)	80	1,5	7200	7,5	3240
b) Ein Pferd, welches im Schritt eine Last auf ebenem Boden trägt .	120	1,1	7920	10	4752
c) Ein Pferd, welches im Schritt einen Frachtwagen zieht, welcher mit 750 Pfund aufs Pferd belastet ist (außer diesem kommt noch das Gewicht des Wagens hinzu) . .	125	1,3	9750	8	4680
d) Ein Pferd, welches an einem Pfluge zieht .	80	. . .	. . .	. .	2080
e) Ein Pferd, welches im Trabe an einem Fuhrwerke zieht (das mit 350 Pfund aufs Pferd belastet ist) und zwar auf gutem Wege	90	2,2	11880	4,5	3208
f) Ein Pferd, welches im Schritt eine Roßmühle in Bewegung setzt . .	100	0,8	4800	4	1152
g) Ein Pferd, welches im Trab eine Roßmühle in Bewegung setzt . .	30	0,2	3600	4,5	972

Art der verrichteten Arbeit.	Ausgeübter Zug oder getragenes Gewicht in Niederländischen Pfunden.	Geschwindigkeit der Bewegung auf die Sekunde in Ellen.	Quantität der Wirkung auf die Minute in Pfunden 1 Elle weit transportirt oder gehoben.	Tägliche Arbeitszeit in Stunden.	Quantität der Wirkung auf den Tag, in Pfunden ausgedrückt, 1 Elle hoch gehoben, oder so weit transportirt.
h) Die supponirte Pferdekraft von Maschinen, welche durch Wasser, Wind oder Dampf getrieben werden; . . .	76	1,0	4560	24	6566
oder nach der in Frankreich angenommenen Bestimmung;	69,5	1,0	4166	—	6000
und nach der in England angenommenen . . .	68	1,117	4556	—	6560

Vergleicht man die Zahlen dieser Tabelle mit denen, welche im Art. 20 die Quantitäten der Wirkung der Arbeiter darstellen, so läßt sich daraus folgern:

1) Daß für das Transportiren der Lasten, welche getragen werden müssen, 6 Arbeiter oder Träger hinsichtlich ihrer Leistung so ziemlich die Kraft eines Pferdes besitzen.

2) Daß beim Transporte von Lasten in Wagen oder Karren, auf ebenem Boden, 1 Pferd so viel transportirt als 16 Arbeiter, sobald es sich im Schritte bewegt. Am Baume einer Roßmühle wird die Kraft eines Pferdes, welches im Schritt herumgeht, etwa reichlich der Kraft von 5 Arbeitern gleichkommen, die eine Schiffswinde umdrehen.

Die Kräfte der Pferde, verglichen mit denen der Arbeiter, sind also sehr verschieden mit der Art

6 *

und Weise, auf welche sie ausgeübt werden. Ferner ergibt sich, daß die Kraftleistungen eines Pferdes sehr beschränkt sind, da es nur beim Ziehen auf eine vortheilhafte Weise statt der Arbeiter gebraucht werden kann. Des Gewichtes der Pferde kann man sich zwar sehr vortheilhaft zur Bewegung von Maschinen bedienen; in diesem Betreffe aber besitzen wir keine Versuche, deren Resultate man vergleichen könnte mit der Quantität von Wirkung, welche ein Arbeiter durch das Gewicht seines Körpers ausüben kann. Auf jede andere Weise wird ein Arbeiter eine viel größere Kraft als ein Pferd entwickeln können, nach Verhältniß seiner geringern Kraft, um Lasten unmittelbar fortzubewegen, und man kann deshalb gar nicht im Allgemeinen behaupten, daß ein Pferd die Kraft von 6 oder 7 Menschen ausüben kann.

Es wird endlich von Nutzen seyn, hier die Anmerkung wiederum ins Gedächtniß zurückzurufen, welche Theil I., Abth. II., Art. 81 über die wirkende Kraft der Menschen mitgetheilt worden ist, zumal da sie ebenfalls bei Erörterung der Kräfte der Thiere anwendbar ist.

§. IV.

Beschreibung einer Bremse, eingerichtet als ein Werkzeug, mit welchem sich die Quantität der Wirkung einer Maschine bestimmen läßt.

24) Die einfachste Art, die Quantität des Widerstandes zu bestimmen, welche während der Bewegung von irgend einer Maschine überwunden werden muß, oder auch, um die eigentliche Quantität der Wirkung der bewegenden Kraft zu finden, muß immer darin bestehen, daß man an irgend eine Welle der Maschine ein Gewicht hängt, so wie an einen Haspel, und daß man dieses Gewicht so

schwer nehme, daß die Maschine eine Geschwindigkeit der Bewegung bekommt, derjenigen gleich, welche man bei der Bewegung der eigentlichen Last wahrnimmt; denn alsdann wird die Größe des angehängten Gewichtes, reducirt auf den Hebelarm der Last, das richtige Maß des Widerstandes dieser Last seyn. Dieses Verfahren ist, ohne einige Modification im Großen nicht immer ausführbar, denn es kann sehr leicht der Fall eintreten, daß Raum oder Mittel fehlen, um viele schwere Gewichte unmittelbar an eine Welle der Maschine zu hängen und dieselben bis zu einer schicklichen Höhe oder Extension aufzuwinden, um die Beobachtung auf einige Augenblicke fortzusetzen.

Wenn man eine Welle der Maschine in Verbindung bringt mit einem besondern Werkzeug, bei dessen Anwendung man weniger schwere Gewichte und weniger große Räume des Steigens derselben braucht, so kann die Unbequemlichkeit des eben erwähnten Verfahrens vermieden werden, und dazu hat man auch vielerlei Vorrichtungen ausgedacht. Die einfachste derselben ist vielleicht folgende, die ganz einfach aus einer Bremse besteht, welche man in solchem Grade auf eine Welle der Maschine klemmt, daß der dadurch entstehende Widerstand der Reibung dem eigentlichen Widerstande gleich wird, den die Maschine überwinden muß, während man alsdann den erwähnten Widerstand der Reibung durch Gewichte genau wägt oder mißt und alsdann den ganzen Effect durch Berechnung auf den Fall einer Welle zurückführt, mit welcher ein Gewicht aufgewunden wird.

Es sey M Fig. 20 der Durchschnitt einer Welle, die zu einer Maschine gehört, deren richtiges Maß des Effectes man zu kennen wünscht. Diese Welle theilt durch Räder u. s. w. ihre Bewegung denje-

nigen Theilen der Maschine mit, durch welche die eigentliche Last verrückt oder bewegt wird. Vorausgesetzt nun, man könne diese Welle durch eine wirkliche Auslösung, oder durch das Verschieben von Rädern, durch das Ausschrauben von Zähnen u. s. w. (siehe Theil II., Abth. II., Art. 16) nach Belieben außer Wirkung auf die eigentliche Last bringen und man nehme diese Auslösung vor, nachdem man zuvor genau beobachtet hat, wie viele Umgänge diese Welle z. B. in einer Minute macht, während sie noch mit den arbeitenden Theilen der Maschine verbunden war und die Last bewegte. Nach dieser Auslösung ist der Widerstand der Last beseitigt, und wenn nun die bewegende Kraft mit demselben Kraftvermögen fortwirkt, so muß nothwendig die Bewegung der Maschine an Geschwindigkeit zunehmen.

Es sey A B ein Hebel, welcher mit einem Bremsstück C verbunden ist, welches genau auf die runde Welle M paßt und ferner ganz und gar um diese Welle geklemmt wird durch einen Bügel a c d b, welcher bei a und b an zwei Bolzen a e und b f, die durch den Hebel gehen und mit Muttern e und f denselben an die Welle M andrücken, genagelt oder geschmiedet ist.

Wenn dieser Hebel frei ist, so dreht er sich mit der Welle M; jedoch wenn man ihn durch ein Seil oder durch einen Riegel D, an seinem Ende angebracht, in dieser Bewegung hindert (welche in der Richtung des Pfeilchens angenommen werden soll), so wird sich die Welle M allein drehen, jedoch die Reibung an der Bremse C und am Bügel a c d b wird die Geschwindigkeit ihrer Bewegung sehr hindern.

Wir wissen aus den im 1. Theil der 2. Abth. Kapitel III. aufgestellten Grundsätzen, wie auch aus dem, was im 2. Theil der 2. Abth. Kapitel I, §. V.

über die Reibung von Schnuren und Bremsen gesagt worden ist, daß dieselbe mit der Extension, in welcher die Bremse mit der Welle in Berührung steht und je nach der Größe der Klemmung in großem Maße zunimmt. Daraus ergibt sich nun, daß, wenn man die Muttern e und f anschraubt, und wenn die Welle M beinahe an ihrem ganzen Umfange von der Bremse umgeben wird, die Klemmung sogar so weit gebracht werden kann, daß die bewegende Kraft nicht eher im Stande ist, diesen Widerstand zu überwinden, und aufhört, das Werkzeug zu bewegen. Bei einer geringern Quantität der Klemmung wird deshalb die bewegende Kraft in ihrer Wirkung gehindert, und man kann deshalb durch einige Versuche die Klemmung gerade so weit treiben, daß der Widerstand der zu überwindenden Reibung vollkommen gleich wird dem Widerstande der Last, wenn diese durch die Welle M frei bewegt wird, so daß alsdann die Zahl der Umgänge, welche die Welle M in der Minute macht, wenn sie von der Last ausgelöst ist und durch die Bremse geklemmt wird, auch eben so groß ist, als damals, wo sie, ohne von der Bremse geklemmt zu werden, die Last bewegte. Hängt man nun endlich an das Ende B des Hebels einige Gewichte, bis daß er aufhört, gegen den Riegel D, zu stoßen, und bis er vollkommen frei im Gleichgewicht oder in einer horizontalen Lage hängt, so thun diese Gewichte denselben Effect, als der hindernde Riegel D, und geben einen Maßstab an die Hand, mit welchem man die Größe des Widerstandes der Reibung [illegible] Umfange der Welle M messen kann und zwar n[illegible] genden Grundsätzen:

Die Reibung, welche am Umfange der Welle M überwunden werden muß, ist zwar ein Widerstand, der auf alle Punkte des geklemmten Theiles

des Umfanges a c d b C wirkt, aber statt dieser einzelnen Widerstände kann man einen einzigen Widerstand annehmen, welcher ausgeübt wird auf einen einzigen Punkt, z. B. auf einen Punkt P des Umfanges, und welcher wie ein Gewicht R wirkt, welches an einem Seil um die Welle geschlagen wird und in der Richtung P Q drückt. Es sey R die Größe dieses Gewichtes, so ist dessen Moment um den Mittelpunkt M der Bewegung $= R \times PM$; aber das Gewicht G, welches am Hebelarme B C hängt, äquilibrirt im horizontalen Stande des Hebels den Widerstand R der Reibung, und dessen Moment muß deshalb demjenigen der Reibung gleich seyn, weshalb

$$R \times PM = G \times BC, \text{ und } R = \frac{G \cdot BC}{PM} \text{ ist.}$$

Die beobachtete Zahl der Umgänge, welche die Welle M in der Minute macht, sey $= n$, so muß der Punkt P in einer Minute n mal den Umfang PM beschreiben; und da dieser Umfang eine Länge hat von $2 \times 3{,}1416 \times PM = 6{,}2832 \cdot PM$, so legt dieser Punkt P in einer Minute einen Weg zurück $= 6{,}2832 \times PM \times n$. Bestände deshalb der Widerstand R in einem Gewichte, welches am Umfange der Welle aufgewunden würde, so würde dieses Gewicht R in einer Minute einen Raum durchlaufen $= 6{,}2832 \times PM \times n$ und deshalb eine Quantität der Wirkung geben

$$= R \times 6{,}2832 \cdot PM \cdot n$$

$$= \frac{G \cdot BC}{PM} \times 6{,}2832 \cdot PM \cdot n,$$

d. h. da $PM : PM = 1$ wird,

$$= G \cdot n \cdot 6{,}2832 \cdot BC,$$

und dieses ist dann die Quantität der Wirkung, welche der Widerstand am Umfange der Welle M

ausübt. Der Factor 6,2832 · BC ist dem Umfange gleich, den der Punkt B bei der Umdrehung des Hebels BC beschreiben muß; man hat deshalb, um die von der Maschine geleistete Quantität der Wirkung zu berechnen, nachstehende Regel zu befolgen:

Nachdem man die Bremse um die Welle geklemmt hat, so bestimme man durch Versuche, welches Gewicht G an das Ende derselben gehangen werden muß, damit sie in horizontaler Stellung verbleibe; man berechne die Länge des Umfanges, welcher durch den Aufhängungspunkt des Gewichtes beschrieben werden muß, wenn sich der Hebel mit der Welle umdrehte; man beobachte die Zahl der Umdrehungen, welche die Welle in der Minute macht, ganz genau; man beobachte diese Zahl z. B. 5 Minuten lang zu zwei oder drei wiederholten Malen, dividire die Resultate durch 5 und nehme aus diesen die mittlere Proportionalzahl. Wenn man dann die Zahlen G, Länge, Umfang und Aufhängungspunkt, und die Zahl der Umgänge in der Minute mit einander multiplicirt, so wird das Product anzeigen, wie groß die Quantität der Wirkung der Maschine auf die Minute ist, woraus man dann ferner die Quantität der Wirkung auf die Sekunde, auf die Stunde u. s. w. bestimmen kann.

25) Wenn man den Halbmesser PM der Welle M mit demselben Maß (d. h. in Ellen, Palmen oder Zollen) gemessen hat, mit welchem der Hebelarm BC gemessen ist, so findet man durch die Berechnung der Formel

$$R = \frac{G \cdot BC.}{PM}$$

die Größe des Widerstandes in Pfunden, welcher durch die Reibung am Umfange der Welle M ausgeübt wird, und wenn man diese Zahl Pfunde dann auf den Hebelarm reducirt, an welchem die eigentliche Last wirkt, so wird dadurch der Widerstand dieser Last bekannt.

Wenn man ferner die Zahl, welche man durch Berechnung für die Quantität der Wirkung auf die Minute erhalten hat, mit dem Raume dividirt, welcher von dem Punkte in einer Minute durchlaufen wird, auf den die bewegende Kraft wirkt, so wird dadurch das Druckvermögen der bewegenden Kraft bekannt. Angenommen z. B. die Maschine werde in Bewegung gesetzt von drei Pferden, die in einer Mühle gehen, deren runder Mühlenpfad 6 Ellen Halbmesser hat; und man habe für die Quantität der Wirkung der Maschine, mit der Bremse gemessen, die Zahl 14500 gefunden, und die Pferde sollen in drei Minuten viermal in der Mühle herumgehen, so werden sie in einer Minute beinahe zurücklegen einen Weg von

$$\frac{6 \cdot 2 \cdot 3{,}1416 \cdot 4}{3} = 50 \text{ Ellen,}$$

und da nun ihre gesammte Zugkraft, multiplicirt mit dem durchlaufenen Raum 50 in einer Minute gleich seyn muß der Quantität der Wirkung 14500, so wird die Zugkraft

$$= \frac{14500}{50} = 290 \text{ Pfund, oder für jedes Pferd}$$

$= 97$ Pfund.

Ihre eigentliche Zugkraft wird jedoch etwas größer seyn, weil die Reibungen von Wellen und Rädern, von Zapfen und anderen vorhandenen Theilen der Maschine hier nicht in Rechnung gebracht sind; man muß diese Widerstände deshalb berechnen, oder durch wirkliche Versuche bestimmen.

Bei der Wirkung der Bremse macht die Schwere derselben einen Theil des Gewichtes aus, welches den Widerstand der Reibung am Umfange der Welle M äquilibrirt; diese Schwere muß man durch Versuche im Großen, da der Hebel B C z. B. ein Balken ist, welcher bis zu 4 Ellen Länge haben kann, ganz besonders in Rechnung bringen; und dieses Gewicht wird durch Versuche ebenfalls am genauesten bestimmt, indem man nämlich, wenn die Maschine in Ruhe ist und die Schrauben e und t nicht angezogen sind, so daß der Hebel ganz frei auf der Welle M und auf dem Riegel E liegt, den Arm B C bei B an das Ende einer Waage oder an ein Seil hängt, das mit geringer Reibung über eine sich leicht drehende Rolle läuft; denn das Gewicht, welches am andern Arm der Waage, oder an der andern Seite der Scheibe den Hebel im Gleichgewichte hält, muß dann gerade von solcher Schwere seyn, daß es im Punkte B denselben Druck auf die Welle M hervorbringt, als das ganze Uebergewicht des Hebels an dieser Seite der vertikalen Linie C M, welche durch den Mittelpunkt M der Bewegung läuft. Die Wirkung der Reibung, welche durch die Schwere des Theiles A C F erzeugt wird, der unmittelbar auf der Welle ruht, ferner das Gewicht der Schraubenbolzen u. s. w. braucht man in den meisten Fällen nicht in Rechnung zu bringen. Man kann jedoch diese Quantität des Widerstandes berechnen, wenn das Gewicht der eben genannten Theile bekannt ist (und dieses Gewicht läßt sich durch eine

Waage ausmitteln, indem man für diesen Zweck den Balken bei H in der Mitte von A F an einen der Arme hängt, und die Mitte von B F durch einen Schragen unterstützt) und wenn man dasselbe alsdann zum Widerstande R am Umfange der Welle M hinzu addirt. Endlich kann man die Wirkung dieser Schwere ganz und gar vernichten, indem man sie mit einem gleichen Gewichte balancirt, welches über der Bremse an einer Leitrolle hängt.

Wenn der Widerstand der Maschine sehr groß ist, so kann es sich ereignen, daß der Balken B C der Bremse eine sehr große Dicke und Breite haben muß, um bei seiner großen Länge das erforderliche Gewicht G ohne nachtheilige Biegung und ohne ein großes Zittern während der Bewegung tragen zu können, obschon es nun immer möglich ist, dem Arm B C der Bremse durch eine Verbindung von Balken oder Stäben die erforderliche Dicke und Breite zu geben, so ist es jedoch in sehr vielen Fällen und wenn die Länge der Welle M dieses zuläßt, besser, zwei, drei oder mehrere besondere Bremsen an der Welle zu appliciren; und auf diese Weise wird es auch immer möglich seyn, die Quantität der Wirkung der mächtigsten Maschinen zu bestimmen, und wären 50 und mehrere Pferde erforderlich, um dieselben in Bewegung zu setzen.

Die beschriebene Bremse kann auch statt eines Haspels benutzt werden, um die Kraft einer Handmühle auszumitteln, jedoch kann man dieselbe für diese Maschinen, wenn sie nur durch einen oder durch zwei Arbeiter in Bewegung gesetzt werden, beträchtlich vereinfachen, indem man sie nämlich blos aus einem Seil oder aus einem Bande A B C D E Fig. 21 bestehen läßt, welches bei A über oder unter der Welle M festgemacht, hernach um die Welle M geschlagen und mit einem Gewicht P am Ende

E belastet wird, wodurch das Seil gespannt und um die Axe geklemmt wird u. s. w.

26) Wenn die Welle M von Holz ist, so hat die Bremse nach der beschriebenen Art die beste Einrichtung. Man sorge dann nur dafür, den Theil C der Bremse in der Extension des Bogens a b mit Eisen zu beschlagen und ihn, wie auch den breiten Bügel a c d b so viel wie möglich ganz rund und glatt zu arbeiten. Ist die Welle von Gußeisen, so kann man die Bremsstücke ebenfalls aus Gußeisen anfertigen lassen; jedoch kann man alsdann auch zwei Bremsstücke A und B Fig. 22 von Eichenholz anwenden, von denen das oberste A in den Balken C D eingelassen ist. Es werden übrigens die Stücke noch durch die Bolzen a b und c d zusammengehalten und an die Welle M angedrückt. Um die Wellen durch die Reibung so wenig als möglich zu beschädigen, läßt man Holz auf Eisen, oder Eisen auf Eichenholz sich reiben; man muß deshalb auch die Stücke gut einschmieren oder mit Oel bestreichen, was zugleich dazu beiträgt, daß die Stücke nicht so bald heiß werden; jedoch kann man dieses durch die Schmiere nicht immer verhindern, wenn die Umdrehungsgeschwindigkeit der Welle beträchtlich ist, und dann macht sichs nöthig, die Bremsstücke mit Wasser abzukühlen *).

Das Hauptsächlichste, was hinsichtlich der Di-

*) Schwer wird es immer seyn, die beiden reibenden Oberflächen beständig bei derselben Temperatur zu erhalten. Wenn sich diese etwas verändert, so wird auch die Quantität der Reibung anders, und der Balken bleibt alsdann nicht mehr in der absolut nothwendigen horizontalen Stellung. Ohne diese Schwierigkeit würde die einfache Bremse in jedem Fall eins der zweckmäßigsten Werkzeuge seyn, um die Quantität der Wirkung einer Maschine genau zu bestimmen.

mensionen der Stücke zu bestimmen bleibt, ist die Länge, Breite und Dicke des Baumes B C Fig. 20; und dieses ist nicht schwierig; denn da man die Quantität der Wirkung der bewegenden Kraft immer aus ihrer Art ziemlich genau schätzen kann, so weiß man auch immer, wie groß das Gewicht G seyn muß, welches an einem bestimmten Hebelarme auf die Welle M wirken soll, um den Widerstand am Umfang dieser Welle balanciren zu können. Nimmt man nun für den Baum G B eine bestimmte Länge, so kann man dessen Breite und Dicke, dieser Tragkraft entsprechend, bestimmen, indem man zugleich darauf sieht, dem Baume ein Uebermaß von Dicke zu geben, damit er während der Bewegung der Welle M und bei dem Drucke des Gewichtes G nicht zu sehr zittere oder sich biege, denn dieses muß der Genauigkeit der Beobachtung hinderlich seyn.

27) Bis hierher haben wir angenommen, daß die Axe rund sey, aber sie kann auch viereckig, achteckig u. s. w. seyn, und da eine runde Form des Durchschnittes hier unvermeidlich erfordert wird, so muß man um dieselbe einen Ring A Fig. 23 legen, welcher eine vollkommen viereckige oder achteckige Oeffnung darbietet, so daß er gerade an die Axe geschoben werden kann. Wenn dieser Ring massiv ist, muß die Welle, um den Ring aufzunehmen, aus ihren Lagern gehoben werden, und dieses kann sehr viele Schwierigkeiten machen. Man muß dann den Ring aus vier oder aus mehr Stücken zusammensetzen, welche um die vier Seiten der Welle gelegt und alsdann an einander geschlossen werden können. Dieser Verschluß oder diese Verbindung kann auf mehr als eine Weise bewerkstelligt werden, wenn man jedoch den Ring aus Holz verfertigt und demselben eine hinlängliche Breite gibt, so wird eine Verbindung durch Nägel die einfachste und stärkste

seyn. Sie ist in Fig. 24 dargestellt. Nr. 1 und 2 geben dieselbe im Grundriß und Aufriß, indem der Ring aus vier Kreisstücken A A und B B besteht, deren Form in Fig. 24, Nr. 3 im Durchschnitt dargestellt ist, indem die Stücken A A und auch die Stücken B B immer dieselbe Form haben; A und A werden nämlich in B und B eingeschoben, und nachdem sie um die Welle gelegt sind, durch Nägel mit einander verbunden. Alsdann wird der Ring, wenn er noch nicht hinlänglich schließt, mit Keilen an der Welle befestigt. Es ist möglich, diese Stücke mit einer solchen Genauigkeit zu verfertigen, daß ihr äußerer Umfang, nachdem sie um die Welle gelegt sind, ganz glatt und rund ist. Sollten sie nicht so genau verfertigt seyn, so kann man den Ring bei einer geschwinden Umdrehung der Welle mit dem Drehstahl gehörig abrunden, sobald nämlich die genannte Welle nicht zu sehr zittert.

Wenn die Welle, auf welche die Bremse geklemmt werden soll, nicht horizontal liegt, wie hierbei vorausgesetzt worden, sondern wenn sie einen vertikalen, oder schrägen Stand hat, so wird es unvermeidlich, die Bremse zu unterstützen; auch muß alsdann das Gewicht G an einem Seile hängen, welches in der Höhe der Bremse über eine Leitrolle geschlagen ist und in einem Winkel mit der Welle gerade nach dem Ende des Baumes B C läuft. Der Baum muß durch Schragen oder durch Balken unterstützt werden und wenigstens an zwei Punkten, so daß die ganze Schwere der Bremse durch diese Stützpunkte getragen wird und sie auch vollkommen in Ruhe liegt, während sie nicht auf die Welle drückt, ohne dabei um einen der genannten Punkte zu schwanken.

Die Bremsstücke müssen in diesem Fall auch etwas unterstützt werden, besonders das unterste, B

Fig. 22, oder der Bügel a c d b Fig. 20, damit dieses Stück, oder der Bügel, nicht ganz und gar an den Schraubenbolzen hänge, wodurch die Umschließung der Welle weniger genau wird u. s. w. Man erlangt dieses sehr leicht, wenn die Stücken um einen besondern Ring Fig. 23 und 24 sich legen sollen, indem man nämlich diesen Ring an seinem Umfange unten mit einem vortretenden Rand a b, oder mit einer Kehle Fig. 25 ausstattet, auf welcher die Bremsstücke ruhen können.

§. V.

Angabe der gebräuchlichsten Mittel, um Maschinen durch Menschenkräfte in Bewegung zu setzen; Bemerkungen über diese Verfahrungsarten u. s. w.

28) Ein Arbeiter kann auf zweierlei Weise einem Werkzeuge Bewegung mittheilen:

1) durch seine Muskelkraft; und

2) durch das Gewicht seines Körpers; obschon er bei der Ausübung seiner Muskelkraft durch das Gewicht seines Körpers meistentheils etwas unterstützt wird.

Im ersten Falle sind die mechanischen Theile oder Einrichtungen verschieden, durch deren Hilfe er seine Kraft auf Werkzeuge überträgt, je nachdem er sich besonders sitzend oder stehend befindet, oder fortschreitet, und je nachdem er seine Kraft ausübt, indem er mit den Händen schiebt, zieht und drückt, oder indem er mit den Füßen drückt, oder tritt, oder indem er mit Brust und Hüften schiebt oder zieht, wo er dann auch einen gewissen Theil vom Gewichte seines Körpers anwendet, um Bewegung mitzutheilen.

Im zweiten Fall übt er seine Kraft meistens auf dieselbe Weise aus, und die Werkzeuge, welche

seinen Druck empfangen, um dadurch gewisse Lasten, oder andere Werkzeuge zu bewegen, sind dann allein nach der Art der Bewegung (sie sei kreisförmig, auf- und niedergehend u. s. w.), die sie unmittelbar empfangen sollen, verschieden. Wir wollen jetzt von den gebräuchlichsten Arten, Maschinen durch die Kräfte von Menschen in Bewegung zu setzen, eine compendiöse Uebersicht geben.

29) **Anwendung der Muskelkraft der Menschen, um Werkzeuge zu bewegen.**

A. **Art und Weise, wie ein Arbeiter sitzend seine Kraft auf ein Werkzeug ausüben kann.**

a) Ein Arbeiter kann sitzend und indem er sich mit den Füßen gegen einen unbeweglichen Punkt stützt, seinen Körper **vorwärts** und **hinterwärts** bewegen und also mit den Händen irgend eine Last ziehen oder schieben.

Er theilt auf diese Weise irgend einem Werkzeug oder einer Maschine, eine hin- und hergehende Bewegung mit. Ein Beispiel davon bietet die gewöhnliche Steinsäge dar, welche von einem Arbeiter auf einem Steine hin- und herbewegt wird und denselben an einer bestimmten Stelle durchschneidet.

Uebt der Arbeiter seine Kraft nur in einer Richtung auf die Last aus, d. h. ist er nur thätig durch Ziehen, oder durch Schieben, indem er seinen Körper alsdann **vorwärts** oder **rückwärts** bewegt, so kann er auf diese Weise eine geradlinige und auch eine kreisförmige Bewegung entstehen lassen, so wie er diese letzte Bewegung auch erzeugt, indem er in beiden Richtungen der Bewegung seines Körpers Kraft ausübt. Die erste, nämlich die geradlinige Bewegung, findet statt bei dem Fortrudern eines Nachens, bei dem Anziehen von Pressen, Schrauben in Maschinen u. s. w. Die kreisförmige

Bewegung wird unmittelbar mitgetheilt, wenn ein Arbeiter mit den beiden Händen, indem er seinem Körper eine schräge Stellung nach hinterwärts gibt, an den vorragenden Speichen a b c, Fig. 26 eines Rades R zieht. Die Bank B ist sein Sitzort, und mit den Füßen tritt er gegen den festen Stützpunkt A. Obschon er auf diese Weise dem Rade keine regelmäßig anhaltende Bewegung mittheilen kann, so übt er doch seine Kraft nützlich aus: er zieht beinahe in einer Richtung, welche zum Umfange des Rades eine Tangente bildet und wirkt also beinahe senkrecht auf den langen Hebelarm R b.

Mit Hilfe einer hin- und hergehenden Bewegung können alle Handmühlen durch sitzende Arbeiter umgedreht werden. Diese abwechselnde geradlinige Bewegung ist diejenige einer Stange A B, Fig. 27 bis 30, welche auf die Kurbel a b wirkt und durch den Arbeiter oder durch mehrere Arbeiter am Hebel C D hin- und herbewegt wird. Wenn die Kurbel also umgedreht wird, während ihre Axe oder Welle mit einem kurzen Schwungrade versehen ist, so entsteht eine anhaltende, hinlänglich regelmäßige kreisförmige Bewegung. Wenn der Arbeiter unmittelbar an der Stange A B, Fig. 27 thätig ist, so läßt man dieselbe von einem Strick oder einer Kette c d tragen; dieses ist jedoch nicht erforderlich, wenn der Arbeiter die genannte Stange mittelst eines Hebels C D, Fig. 28 bis 30 (an welchem er wie ein Ruderer arbeitet) hin- und herbewegt. Da man mit einem solchen Hebel der zweiten Art den Druck auf die Kurbel sehr vermehren kann, so verdienen die sogenannten Kurbelmühlen vor den Radmühlen Fig. 26, bei weitem den Vorzug, weil sie mit viel weniger Umständen und auch in jeder Richtung eine weit regelmäßigere

Bewegung in einer Maschine erzeugen können und auch zugleich den Arbeiter am wenigsten ermatten.

Ein Arbeiter, der sitzend eine Handmühle umdreht, wirkt beinahe, wie ein Ruderer, wenn der Zug oder der Schub in einer horizontalen Richtung erfolgt, und er übt dann auch beinahe dieselbe Kraft aus (siehe die Tabelle in §. II. Art. 20). Da er sitzt, so genießt er auch eine theilweise Ruhe; jedoch ist seine ganze Muskelkraft in Thätigkeit, und er wird dabei ausruhen, so daß ihm die Fortdauer der Arbeit leichter wird, wenn er dann und wann seine Arbeit stehend verrichtet; hierzu eignen sich die Einrichtungen der Handmühlen Fig. 27 bis 30 sämmtlich auf gleiche Weise. Deshalb und weil die Quantität der Wirkung eines Ruderers mehr als mittelmäßig ist, so kann man annehmen, daß die Kraft eines Arbeiters auf eine sehr vortheilhafte Weise angewendet wird, wenn er, so wie eben angegeben ist, an einer Handmühle arbeitet.

Die auf- und niedergehende Bewegung des einen oder des andern Theiles einer Maschine kann aus der kreisförmigen Bewegung einer Welle abgeleitet werden; sie wird auch unmittelbar erlangt, wenn man eine hin- und hergehende Stange, oder einen Stock mit einem Hebel verbindet, wie sich aus dem Beispiel einer Pumpe Fig. 31 ergibt, wo die Stange A B durch einen sitzenden Arbeiter hin- und herbewegt wird.

Ein sitzender Arbeiter kann seine Kraft zur Bewegung einer Maschine häufig auf dieselbe Weise anwenden (entweder mit den Händen oder mit den Füßen), wie er sie stehend anzuwenden pflegt. Die verschiedenen Fälle, in welchen dieses möglich ist, ergeben sich sogleich aus der Betrachtung dessen, was unter B §. I. näher aus einander gesetzt werden

soll. Für eine stete Arbeit kann er jedoch sitzend seine Kraft nicht nützlicher ausüben, als auf die vorgenannte Weise, siehe Fig. 27 bis 30.

b) Ein sitzender Arbeiter kann auch Bewegung mittheilen, indem er mit seinem Fuß ein Trittbret niederdrückt, oder indem er mit seinen Füßen gegen die Sprossen eines vertikalen Rades drückt, oder gegen die Speichen eines horizontalen Rades, wie dieses bei den Töpfern der Fall ist; oder wenn er mit den Füßen gegen die Sprossen einer biegsamen Strickleiter ohne Ende drückt, welche um zwei Scheiben gespannt ist, die sie bei ihrem Fortgange in Umdrehung setzt; aber diese drei letzten Arten sind sehr mangelhaft.

B. Art und Weise, wie ein Arbeiter, der gerade steht, oder seinen Ort nicht verändert, einer Maschine Bewegung mittheilen kann.

a) Mit den Händen und indem er seinen Körper biegt, kann ein Arbeiter auf sehr verschiedene Weise ein Werkzeug oder eine Maschine in Bewegung bringen und zwar:

1) Indem er mit beiden Händen einen horizontalen Hebel auf- und niederdreht, aus welcher abwechselnden kreisförmigen Bewegung alsdann durch die in der II. Abth. des vorhergehenden Theiles beschriebenen Mittel diejenige andere Bewegung abgeleitet werden kann, wie sie für den Zweck nöthig ist. Der Arbeiter kann unmittelbar auf den Hebel drükken, oder mittelst einer senkrecht niederhängenden Stange, oder mittelst eines Stockes A B Fig. 32, während der Druck auf einen horizontalen Handgriff C D erfolgt. Wagen, Pumpen, Karren, Hackmesser u. s. w. müssen auf diese Weise bewegt werden; die ausgeübte Kraft ist derjenigen gleich, welche ein Arbeiter anwendet, der an einer Pumpe arbeitet;

2) indem er mit beiden Händen eine an einer horizontalen, oder vertikalen Welle sitzende Kurbel umdreht. Er theilt auf diese Weise unmittelbar eine kreisförmige Bewegung mit. Ist die Kurbel an einer vertikalen Welle angebracht, wie in Fig. 27, so wird eine unmittelbare Umdrehung derselben viel Mühe verursachen, was nicht der Fall ist, wenn der Arbeiter am Hebel C D zieht und schiebt und die Kurbel a b mit einer Stange A B in Umdrehung bringt.

Die Arbeit mit einer Kurbel an einer horizontalen Welle ist bei weitem nicht so schwierig, besonders wenn diese Welle an beiden Enden mit Kurbeln versehen ist (die in entgegengesetzten Richtungen stehen) und also durch zwei Arbeiter umgedreht wird. Jeder Arbeiter kann alsdann, wenn er stete arbeitet, mit 7 Pfund Druck eine Geschwindigkeit von 0,75 Ellen mittheilen, und bei kurz dauernder, oder häufig unterbrochener Arbeitszeit kann diese Kraft bis zu 12 und 13 Pfund Druck und bis zu einer Geschwindigkeit von einer Elle auf die Sekunde gesteigert werden. Eine Kurbel wird jedoch leichter von einem stehenden Arbeiter in Umdrehung gesetzt, wenn derselbe an einem Schwengel, oder an einer Stange A B, Fig. 27 — 30, auf dieselbe Weise, wie ein Ruderer arbeitet. Mit einem Pumpenstock B C, Fig. 33, kann er auch eine hochangebrachte Kurbel A B in Umdrehung versetzen. Und diese beiden letztern Arten, thätig zu seyn, sind auf die Dauer, und wenn es der Ort nicht verhindert, denen vorzuziehen, wobei der Arbeiter unmittelbar auf die Kurbel einer Welle, oder eines Rades wirkt, weil er sich dann bei dem Biegen seines Körpers sehr anstrengen muß.

3) Durch das Hin- und Herschwingen des Pendels, A B Fig. 34, welches auch durch Seile

a b c, a d auf jeder Seite durch zwei oder mehrere Arbeiter ausgeführt werden kann, kann man die Welle A des Pendels mit großer Kraft abwechselnd drehen und dadurch eine auf- und niedergehende Bewegung, oder eine kreisförmige Bewegung erzeugen u. s. w.

4) Ein Arbeiter, welcher an einem Flaschenzuge arbeitet, oder an einem Seile mit Knoten, welches ohne Ende um eine Scheibe geschlagen ist, oder auch wohl um zwei Scheiben, kann einer Maschine unmittelbar eine kreisförmige Bewegung mittheilen. Seine Kraft ist dann derjenigen gleich, welche er im Stande ist, an einem Flaschenzuge auszuüben. Arbeitet er an Armen, welche durch eine Welle gesteckt sind, oder an den Speichen d e f u. s. w. eines Rades R, Fig. 26, so wird seine Kraft etwas größer seyn, besonders indem er auf das Rad, Fig. 26, wirkt, weil der Druck alsdann beständig in derselben Entfernung vom Mittelpunkte ausgeübt werden kann, und zwar mit geringerer Anstrengung bei einer geringern Beugung des Körpers. Indem ein Arbeiter an einem solchen Rade arbeitet, kann er einer Maschine auch eine beinahe regelmäßige Bewegung mittheilen, jedoch mit einem Schwengel an einer Kurbel übt er auf die Dauer eine größere Kraft aus, und die Bewegung wird auf die Dauer regelmäßiger seyn; auch wendet man die eben genannten Räder eher zum Heben und Aufziehen von Lasten an, als zur Bewegung von Maschinen.

b) Mit den Füßen bringt ein stehender Arbeiter eine Maschine durch ein Trittbret in Bewegung, welches mit der Kurbel einer Welle in Verbindung steht, indem er dasselbe niederdrückt. Ueber die mechanische Kraft, welche er auf diese Weise entwickelt, scheinen keine hinlänglichen Versuche angestellt zu seyn. Dieselbe wird jedoch auf eine nützliche und

wenig angreifende Weise ausgeübt, während zugleich die Hände frei bleiben, um die Maschine zu steuern, oder um von derselben einen gewissen Effect zu erlangen. Die Welle, welche durch das Trittbret gedreht wird, liegt horizontal, und um eine stehende Welle in Bewegung zu bringen, muß man alsdann Räderwerk oder andere Mittel anwenden. Dieses kann Schwierigkeiten verursachen, oder der zu überwindende Widerstand kann zu groß seyn, um von einem einzigen Arbeiter, der nur mit einem Fuße thätig ist, überwunden zu werden; man schlägt nun in diesem Falle vor, auf die stehende Welle A B, Fig. 35, ein horizontales Rad C D aufzuziehen, welches auf dem ebenen Umfange mit Trittölzern versehen ist, und einen Arbeiter, welcher sich mit den Händen und mit der Brust gegen einen Balken E stützt, auf die Tritthölzer treten zu lassen, um auf diese Weise, indem er nämlich mit den Füßen das Rad hinterwärts treibt, die Welle in Umgang zu setzen. Eine Strickleiter ohne Ende von etwas schräger Lage und über zwei Scheiben geschlagen, kann auf dieselbe Weise benutzt werden, um unter Mitwirkung vieler Arbeiter einer tief gelegenen horizontalen Welle Bewegung mitzutheilen. Jedoch sind diese, so wie die vorhergehende Einrichtung viel eher im Stande, die Arbeiter zu ermüden, als einen großen Nutzen aus ihrer Kraft gewinnen zu lassen. Zum Drehen vertikaler Wellen sind die sogenannten Tretmühlen am geeignetsten; und um horizontale Wellen, welche wegen großen Widerstandes oder wegen der besondern Oertlichkeit mit dem Fuße nicht bewegt werden können, in Umdrehung zu versetzen, ist es auch besser, von den Einrichtungen Gebrauch zu machen, durch welche die Arbeiter das Gewicht ihres Körpers mehr anwenden, als dasjenige ihrer Muskelkraft.

c) Durch den Druck von Händen und Füßen zugleich kann man ein Rad mit Sprossen oder Speichen Fig. 26 äußerst kräftig umdrehen, jedoch darf die Arbeit nicht von langer Dauer seyn; und dieses gilt von allen Maschinen, welche man durch einen gleichzeitigen Druck von Händen und Füßen in Bewegung setzt.

C. Art und Weise, wie Arbeiter durch Gehen ihre Kraft auf Maschinen ausüben können.

Es ist sehr bekannt, wie Lasten durch Arbeiter fortbewegt werden, wenn sie dieselben auf Wagen, Karren oder Schlitten legen und mit den Händen schieben oder ziehen, oder wie sie ihre Kräfte anwenden können, indem sie an einem Joche ziehen, um Frachtwaaren auf Wagen oder auf Fuhrwerk fort zu transportiren.

Um eine Maschine, welche ihren Ort nicht verändert, durch die Kräfte fortschreitender Arbeiter in Gang zu setzen, kann man letztere fast auf keine andere Weise anhaltend arbeiten lassen, als an den Speichen oder Armen einer Schiffswinde, oder an den Hebelarmen eines stehenden Gangspills, der mit einem Räderwerk verbunden und beinahe so eingerichtet ist, wie eine Roßmühle, weshalb diese Maschine den Namen Tretmühle führt. Um stehende Wellen oder Spindeln in Umgang zu versetzen, sind die eben genannten Maschinen sehr zweckmäßig, da einige Arbeiter, die in hinlänglicher Anzahl angestellt werden können, auf eine sehr nützliche und vollkommen regelmäßige Weise an den Hebeln oder Speichen ziehen oder schieben können, wobei sie die Arbeit sehr gut aushalten können. Man macht jedoch jetzt von den Tretmühlen wenig oder gar keinen Gebrauch, um Maschinen dadurch anhaltend in Gang zu bringen, besonders nicht,

wenn dazu 4 oder 5 Menschen erfordert werden, denn dann wird man selten durch örtliche Umstände verhindert seyn, statt ihrer ein Pferd anzuwenden, dessen Gebrauch sich alsdann, auch wegen größerer Wohlfeilheit, empfiehlt.

30) **Art und Weise, wie ein Werkzeug oder eine Maschine durch das Gewicht des Körpers bewegt werden kann.**

Die Art und Weise, wie ein Arbeiter, indem er das Gewicht seines Körpers auf den innern oder den äußern Umfang eines Rades drücken läßt, um der Welle dieses Rades eine drehende Bewegung mitzutheilen, sind bereits in der 2. Abth. des 1. Theiles Kapitel IV. erwähnt worden. Manchmal läßt man den Arbeiter gegen ein schräg liegendes Rad an einer schräg stehenden Welle emporsteigen; doch arbeitet er alsdann sehr unvortheilhaft und ermattet sehr bald. Aus der Tabelle, welche weiter oben Art. 20 gegeben worden ist, ergibt sich, daß die Quantität der Wirkung eines Arbeiters, der am äußersten Umfang eines Sprossenrades arbeitet, sehr beträchtlich und größer als diejenige eines Arbeiters ist, welcher in einem Tretrade läuft, während die Erfahrung lehrt, daß die Arbeiter am Sprossenrade mit viel weniger Anstrengung, als diejenigen im Tretrade ihre Arbeit verrichten. Ueber dieses ist die Arbeit in einem Tretrade höchst gefährlich, was bei einem gut eingerichteten Sprossenrade der Fall nicht ist. An letzterem können viele Arbeiter zugleich ihre Kraft ausüben und für diesen Zweck kann das Tretrad nicht so bequem und einfach eingerichtet werden. Am Sprossenrade kann ein Arbeiter auch mit seinen Händen zu gleicher Zeit ziehen und drücken, und obschon diese doppelte Ausübung von Kraft auf die Dauer nicht ausgehalten werden kann, so kann sie jedoch dazu dienen, um bei nicht lange anhaltenden

oder häufig abwechselnden Arbeitszeiten die Quantität der Wirkung zu vermehren.

Sprossenräder erfordern einen großen Raum in der Richtung der Länge oder der Breite und Höhe: an diesem Raume kann es fehlen; die in Bewegung zu setzende Welle kann eine sehr tiefe Lage haben, so daß man den Raum auf oder neben dem Boden für die Anbringung und unbehinderte Bewegung des Sprossenrades ganz besonders einrichten muß, oder daß man der Maschine durch eine höhere Stellung des Rades eine größere Complication geben muß, um eine tiefer liegende Welle zu bewegen. In diesen Fällen kann man einen vortheilhaften Gebrauch machen von der Leiter ohne Ende A B C D Fig. 36, welche einen Winkel von ungefähr 65 — 70° mit dem Boden bildet und über zwei Scheiben A D und B C geschlagen ist. Wenn diese Leiter aus einem biegsamen Seile besteht, so hat sie in Entfernungen von je drei Palmen Knoten, um an diesen Knoten die Sprossen (welche aus hölzernen Cylindern bestehen) halten zu können und damit die Knoten zugleich in die Ausschnitte a b c u. s. w. der Scheiben eingreifen, so daß die Umdrehung der letztern mit der größten Gleichförmigkeit stattfindet. Auf die genannten Sprossen läßt man die Arbeiter treten; sie halten sich fest an einer Leiste E, ohne den Ort zu verändern, drücken bei jedem Tritt eine Sprosse nieder und setzen auf diese Weise mittelst der Scheibe A D die Welle F in Umdrehung u. s. w. Dieser Mechanismus nimmt offenbar wenig Raum ein, wenn die Anbringung der Leitscheibe B C über der Maschine keine Behinderung erfährt. Die Arbeiter üben bei einer anhaltenden Arbeit hier eine Kraft aus, viel geringer als diejenige eines Mannes, der eine bequeme (d. h. wenig steile) Treppe hinaufsteigt, jedoch kann man diese Kraft in der Richtung A B

der Bewegung immer auf 60 Pfund Druck anschlagen, der mit einer Geschwindigkeit von 0,15 Ellen Bewegung erzeugt, was deshalb auf die Minute eine Quantität der Wirkung von 540 Pfund 1 Elle hoch gehoben gibt.

Diese Quantität ist geringer, als diejenige eines Arbeiters, welcher ein Sprossenrad bewegt, aber das Erklimmen der Leiter ist bei weitem nicht so ermüdend, als das Niedertreten der Sprossen des Rades, weil die nächstfolgenden Sprossen der Leiter in einer schrägen Richtung A B liegen, während diejenigen eines Sprossenrades, welche die größte Entfernung vom Mittelpunkte haben und auf welche der Arbeiter tritt, beinahe senkrecht über einander liegen, so daß das Heben der Füße weit schwieriger vor sich geht, als auf der Strickleiter. Aus diesen Gründen kann die tägliche Arbeitszeit an der Leiter größer seyn, als am Rade, so daß, wenn dieselbe auf 8 Stunden festgesetzt werden kann, während diejenige am Rade täglich 7 Stunden beträgt, die Quantitäten der Wirkung einander ziemlich gleich seyn müssen.

Um das Emporklimmen der Arbeiter zu erleichtern, könnte man die cylindrischen Sprossen durch ebene Bretchen m n Fig. 37 ersetzen, durch deren Enden q die Seile laufen, welche über und unter den Bretchen einen Knoten bekommen, oder man kann auch daselbst einen Nagel durchstecken, um die Bretchen an ihrer Stelle zu erhalten und zu verhindern, daß sie sich drehen. Man kann auch, obschon dieses bei geringerer Einfachheit auch geringere Festigkeit darbietet, eiserne Stäbchen p q, welche an den Enden viereckig geschmiedet sind, unter die Bretchen legen und dieselben in viereckige eiserne Oehre oder Scheiden einschieben, welche von drei zu drei Palmen in die Seile eingeflochten sind.

Um einer Maschine unmittelbar eine abwechselnde kreisförmige, oder eine abwechselnde geradlinige Bewegung mitzutheilen, oder um in eine Maschine, durch welche keine schweren Lasten gehoben werden sollen, eine regelmäßige kreisförmige Bewegung mittelst einer auf- und niedergehenden Bewegung zu erzeugen, kann man einen Arbeiter mit dem ganzen Gewichte seines Körpers auf ein Trittbret wirken lassen. Auf dieses Trittbret wirkt er dann wie ein Balkentreter (Bälgetreter), oder wie ein Becker am mechanischen Troge (siehe Theil II., Abtheil. II., Kapitel III.); die ganze Last seines Körpers wird bei dieser Einrichtung sehr nutzbar angewendet, jedoch übt er nur diese Kraft dadurch aus, daß er das Trittbret niederdrückt. Anhaltend, d. h. sowohl aufgehend als niedergehend, wird diese Kraft ausgeübt, wenn das Trittbret doppelt ist und von zwei Arbeitern in Bewegung gesetzt wird. Das Werkzeug wird dadurch in einen eigentlichen Schwengel ABC Fig. 38 umgewandelt, dessen beide Enden abwechselnd von zwei Arbeitern niedergedrückt werden, was wenig Anstrengung verursacht. Ein solcher Schwengel kann auch von einem einzelnen Arbeiter bewegt werden, wenn derselbe mit den Füßen den Hebel an beiden Seiten des Drehungspunktes B abwechselnd in a und b drückt, oder wenn er auf dem Schwengel auf- und niederläuft. Die Druckkraft ist alsdann natürlich geringer als im vorhergehenden Falle, und wenn auch zwei Arbeiter nach einander auf der Mitte des Schwengels ihre Kräfte anstrengten, weil die Punkte a und b nicht weit vom Drehungspunkte B entfernt sind. Aber die Extension der Bewegung der Enden A und B kann in diesem Falle größer werden, als wenn die Arbeiter auf die Enden des Schwengels treten.

Es gibt noch andere Arten, wie man bemüht gewesen ist, oder vorgeschlagen hat, Werkzeuge oder Maschinen durch das Gewicht des menschlichen Körpers zu bewegen, aber diese wollen wir mit Stillschweigen übergehen, indem sie von weniger allgemeinem Nutzen sind, als die oben angeführten.

§. VI.

Ueber die Art und Weise, wie man die Kräfte der Thiere, besonders der Pferde, benutzt, um Maschinen in Bewegung zu setzen.

31) Die Thiere üben im Allgemeinen ihre Kraft mit dem größten Nutzen d. h. auf das Erfolgreichste und mit der geringsten Ermattung aus, wenn sie mit der Brust, mit den Schultern u. s. w. ziemlich in einer horizontalen Richtung ziehen. Diese Kraft muß man deshalb besonders benutzen, um Werkzeuge oder Maschinen damit in Bewegung zu setzen. Beim Fortbewegen oder beim Transportiren von Lasten hat man sogar keine Wahl, denn man kann sich dann allein durch Ziehen der Kräfte der Thiere bedienen, um die fragliche Wirkung zu erlangen. Um Werkzeuge oder Maschinen zu bewegen, die den Ort nicht verändern, kann man auch diejenige Kraft der Thiere benutzen, welche sie durch das Gewicht ihres Körpers, d. h. durch Druck auszuüben vermögen. Es gibt jedoch nur wenige Fälle, in welchen man dieser Druckkraft vor ihrer Zugkraft den Vorzug einzuräumen hat. Die Zugkraft ist dann nicht nur die ganz allgemeine, sondern im Allgemeinen die einzige, durch welche ein Thier bei anhaltender Arbeit den vortheilhaftesten Effect leisten kann. Die Größe dieser Kraft ist in der Tabelle des Art. 23 fürs Pferd im Durchschnitt angegeben. Es müssen nun noch einige besondere Um-

stände erwähnt und einige Bemerkungen gemacht werden über die Einrichtung der Maschinen, durch welche man sich die Kraft der Thiere, besonders diejenige der Pferde, zu Nutze zu machen pflegt.

32) Der Transport der Lasten geschieht meistentheils auf Geschirren, welche auf der gemeinschaftlichen Axe oder auf den Axen von zwei oder vier Rädern ruhen und auf diese Weise rollend fortgezogen werden, indem diese Räder nicht fest an den Axen sitzen, sondern sich mit einigem Spielraume um dieselben drehen können. Bei dieser einfachen Einrichtung wird sehr wenig Kraft zur Fortbewegung eines Fuhrwerkes erfordert, und es besteht diese Kraft größtentheils im Ueberwinden der Reibung der Axen an den Naben der Räder.

Es sey A C Fig. 39 das Rad eines Fuhrwerkes, welches auf seiner Axe belastet ist und auf einer Ebene durch eine Kraft fortgezogen wird, welche in der Richtung A B parallel mit dem Boden, und in der Höhe der Welle A thätig ist. Das Rad ruht in C auf dem Boden, und um dasselbe in Umdrehung zu setzen, wirkt die Kraft (die wir $= K$ annehmen wollen) so zu sagen an einem Hebel A C, welcher seinen Drehungspunkt in C hat. Das Moment dieser Kraft ist also $= K \times$ Hebelarm A C, d. i. $= K \times AC$. Die Kraft wirkt auch auf die Axe, welche in der Nabe des Rades ruht, und auf dieselbe einen Druck von G Pfunden ausübt (es bezeichnet nämlich G das Gewicht der Last), und um das Rad zu drehen, muß die Reibung der Axe an der Nabe überwunden werden. Setzt man nun den Halbmesser der Axe $= r$ und das Verhältniß der Reibung zum Druck $= w$, so bietet die Reibung am Umfange der Axe einen Widerstand von $w \cdot G$ Pfunden, und das Moment dieser Reibung ist $= w \cdot G \cdot r$. Da nun die Kraft diesen Widerstand

überwinden muß, so muß das Moment derselben gleich seyn demjenigen dieses Widerstandes, und es ist also

$$K \cdot AC = w \cdot G \cdot r$$

oder $K = \frac{w \cdot G \cdot r}{AC}$.

Wenn alles Uebrige gleich bleibt, so darf die Kraft um so viel kleiner seyn, um wie viel die Dicke der Axen im Verhältniß zu den Rädern kleiner ist, oder ganz allgemein ausgedrückt, sie darf um so kleiner seyn, je größer die Räder sind. Wir wollen z. B. annehmen, der Druck auf die Naben zweier Räder sey 1000 Pfund, die Reibung betrage $\frac{1}{5}$ des Druckes, und die Halbmesser der Welle und der Räder betragen 2 Zoll und 70 Zoll, so wird

$$K = \frac{\frac{1}{5} \cdot 1000 \cdot 2}{70} = \frac{200}{35} = \frac{40}{7} = \text{beinahe } 6$$

Pfund.

Die Größe der Zugkraft braucht also dieser Betrachtung nach sehr gering zu seyn, sie wird aber im Wesentlichen durch verschiedene Umstände gar sehr vergrößert. Diese Umstände bestehen hauptsächlich in den großen Unebenheiten der Wege, über welche die Räder laufen sollen, — in der Abweichung der Räder von der vollkommen runden Form, — in der ungleichmäßigen, schiebenden Bewegung derselben an den Axen, verursacht durch die zwei vorigen Umstände, — in der größern Schwierigkeit als oben angenommen ist, sich um die Axen zu drehen, da sie auf keinem einzelnen Punkte des Weges ruhen ꝛc. Alle diese Umstände vermehren den zu überwindenden Widerstand, so daß ein starkes Pferd mit einer Kraft von 125 Pfund ziehen muß, um einen Karren, auf dessen Axen 1000 Pfund drücken, im

Schritte und auf gutem Wege fortzubewegen, während diese Kraft mehr als zwanzigmal kleiner seyn kann, wenn die Voraussetzung eines ebenen Weges, vollkommen runder Räder u. s. w. im mathematischen Sinne gemacht werden könnte. Die absolute Kraft muß auch sehr veränderlich seyn mit der Art oder der Beschaffenheit des Weges, auf welchem das Fuhrwerk rollt, mit der Art, wie es fortgezogen wird und mit seiner Einrichtung.

Was die Art und Weise anlangt, wie ein Fuhrwerk durch Pferde auf einem ebenen Wege fortgezogen werden muß, verdient bemerkt zu werden, daß die Richtung, in welcher ein Pferd am vortheilhaftesten zieht, eine beinahe horizontale ist, so daß die Zugstränge beinahe parallel mit dem Boden laufen. Diese Richtung wird vollkommen horizontal seyn, wenn die Schultern und die Brust des Pferdes während der Fortbewegung nicht vorn überhängen und der Weg vollkommen eben ist; aber weil dieses nicht der Fall ist, so muß die genannte Richtung einen kleinen Winkel von höchstens 15° mit dem Boden machen, und diese schräge Richtung des Zuges macht sich besonders nöthig, um die Räder leichter über ein Hinderniß oder über eine Unebenheit zu heben, was bei einer horizontalen Richtung des Ziehens häufig sehr viel Kraft erfordern würde. Da nun die Zugstränge am Fuhrwerk in gleicher Höhe mit der Axe der Räder (der vordern Räder, wenn das Fuhrwerk vier Räder hat) befestigt werden müssen, so muß für den leichtesten Zug der Halbmesser der Räder beinahe gleich seyn der Höhe der Brust des Pferdes. Dieses läßt sich bewerkstelligen bei zweirädrigen Fuhrwerken, oder auch bei vierrädrigen, wo die vordern Räder sich nicht unter dem Kasten des Fuhrwerkes zu drehen

brauchen, jedoch bei anderem Fuhrwerk, wo die letztere Bedingung ein nothwendiges Erforderniß wird, kann man die Zugstränge nicht in solcher Höhe befestigen, ohne dem Fuhrwerk eine übermäßige und häufig gefährliche Höhe zu geben, obschon es bei allem Fuhrwerk immer als ein Mangel zu betrachten ist, wenn die vordern Räder einen viel kleinern Halbmesser haben, als die Höhe der Brust des Pferdes, denn bei einer schrägen Richtung der Zugstränge kann ein Pferd seine volle Zugkraft nicht ausüben. Ist diese Zugkraft z. B. gleich A B Fig. 40, so wird der Theil A C blos zum Ziehen angewendet, während ein anderer Theil A D senkrecht nach oben gerichtet ist und nutzlos verwendet wird, um das Vordergestell des Fuhrwerks zu heben. Dieses muß auf den Körper des Pferdes eine sehr ermüdende Wirkung hervorbringen, die man allein vermindern kann dadurch, daß man die Zugstränge nicht zu kurz nimmt, so daß das Pferd nicht dicht an den Wagen gespannt ist. Ein Ackerpferd verrichtet aus dem eben gedachten Grunde eine sehr schwere Arbeit, weil die Richtung, in welcher die meisten Pflüge gezogen werden, sehr schräg ist.

Die Einrichtung des Fuhrwerks in Bezug auf die Dimensionen der Räder steht in einem genauen Zusammenhange mit der größern oder kleinern Leichtigkeit des Transportes. Große Räder sind deshalb viel besser, als kleine, weil sie nicht nur der Zugkraft eine zweckmäßigere Richtung geben, sondern auch leichter über die Unebenheiten eines Weges rollen, besser in schlechtem Geleise sich fortbewegen und in weichem Boden nicht zu tief einsinken. Breite Räder haben auch gar sehr den Vorzug vor schmalen Rädern; letztere passen für leichtes und bequemes Fuhrwerk, was stets auf ebenen Wegen rollt, sind aber besonders zu vermeiden an Karren und

Wagen, die zum Transporte schwerer Frachtgüter dienen, denn breite Räder geben dem Fuhrwerk einen festen Unterstützungspunkt, verhüten das nachtheilige Schieben und Wackeln der Räder auf holprichten Steinwegen; sie rollen deshalb leichter über solche Wege und beschädigen letztere auch weniger; sie sinken weniger ein in weichen Wegen, indem sie auf einer größern Oberfläche ruhen, und tragen also auch viel zur Erhaltung dieser Wege bei; sie machen nicht so tiefe Geleise u. s. w. Haben schwere Fuhrwerke vier Räder, so ist es auch immer vortheilhaft, die Vorder- und Hinterräder so nahe an einander zu bringen, als dieses nur einigermaßen möglich ist; denn je weiter sie von den vordern Rädern abstehen, um desto größer kann das Schwanken des hintersten Theiles des Fuhrwerks auf einem holprichten Wege werden (den man sich immer noch etwas gegen die Seite hin schräg denken muß), und dieses wirkt offenbar noch sehr nachtheilig auf die Zugkraft, so wie sich auch von selbst ergibt, daß, wenn Vorder- und Hinterräder dicht an einander stehen, das Untergestell des Fuhrwerks dadurch offenbar kürzer und leichter werden müsse.

33) Wenn ein Pferd durch seine Zugkraft einem Werkzeug oder einer Maschine, die den Ort nicht verändert, Bewegung mittheilen soll, so kann es nur im Umfang eines Kreises sich bewegen; das Thier zieht alsdann gewissermaßen an den Armen eines Gangspills, welcher senkrecht auf dem Boden steht und im Mittelpunkte des genannten Kreises, und dessen Umdrehung durch Räderwerk und dergleichen Mittel auf die Maschine fortgepflanzt wird, wodurch der verlangte Effect erhalten wird.

Der eben genannte Gangspill mit den Armen oder Bäumen, an welchem die Pferdekraft ausgeübt werden soll, nebst den Rädern oder Scheiben,

welche die Bewegung des Gangspills auf die eigentliche Maschine fortflanzen, mit einem Wort, der ganze Apparat, welcher erfordert wird, um durch Pferdekräfte eine Maschine in Bewegung zu bringen, wird im Allgemeinen Roßmühle genannt. Die Formen, unter welchen Roßmühlen vorkommen können, sind nur etwas verschieden je nach der Art und Weise, wie der Schwengel, an welchem ein Pferd ziehen soll, mit der Mühlwelle, je nach den örtlichen Umständen, der Einrichtung der Maschine rc. verbunden werden soll. In den Fig. 41 bis 44 sind vier Formen angegeben, unter welchen die Roßmühlen am meisten vorkommen.

Fig. 41 Nr. 1 und 2. AB ist die Mühlwelle, welche die Pferde umdrehen; sie laufen deshalb um diese Welle herum und zwar auf einer dazu eingerichteten kreisförmigen Bahn CGDHFE, welche der Mühlpfad oder auch der Pferdepfad heißt. So wie die Figur zeigt, muß die Welle einer Maschine Bewegung mittheilen durch das Räderwerk IK, welches unter der Oberfläche des Mühlpfades CDEF liegt, oder an der Welle sitzt und im Falle der Noth durch die schrägen Streben a b c d u. s. w. unverrückbar mit der Welle befestigt wird (und dieses muß besonders dann stattfinden, wenn der Durchmesser des Rades IK groß ist; diese Streben verhindern alsdann das Zittern und Biegen der Kreuzarme und Felgen, und diese brauchen alsdann für diesen Zweck nicht aus schweren Stücken zusammengesetzt zu werden). Ueber dem Pferdepfade kann deshalb der Mühlbaum (oder die Mühlbäume, wenn die Mühle durch zwei oder mehr Pferde getrieben werden muß) LMN durch die Mühlwelle AB gesteckt und in derselben festgekeilt werden. Sind diese Bäume lang, so stütze man dieselben durch die Träger OP und QR. Am Ende dieser Bäume wer-

den die Pferde angespannt, wie aus der Figur ersichtlich ist; sie reichen folglich nicht weiter, als bis reichlich über die halbe Breite C F des Mühlpfades.

Damit die Pferde beständig in der Richtung des Pfades bleiben, setzt man noch zwei besondere schwächere Bäume S T und U V an, welche die Länge des Pferdes haben; sie sind bei S und bei V an dem Zugbaume L M N befestigt und bekommen ferner die erforderliche Unterstützung durch die angesetzten Stücke T X und U W, so wie durch ein Paar Streben e f und g h, welche die Enden T und V von der Mühlwelle aus stützen (diese Stützen werden jedoch unnöthig, wenn die Stücke T X und U W einen einzigen Baum ausmachen, welcher quer durch die Mühlwelle läuft. Der Brustriemen oder das Kummt des Pferdes wird mittelst einer Zugleine oder einer kurzen Kette mit dem Ende T des einen Seitenbaumes S T in Verbindung gesetzt, so daß das Pferd keine Seitenbewegung machen, sondern nur um die Mühlwelle herum gehen kann. Die Stücke T X und U W ꝛc. werden vermieden, wenn man den innern Raum des Pfades durch eine Barriere oder durch eine steinerne Brüstung Z von 3 bis 4 Palmen Höhe einschließt und den Brustriemen des Pferdes mittelst einer Leine an der Mühlwelle befestigt.

Die Art und Weise, wie die Pferde am Mühlbaume L M Fig. 42 ziehen, ist von der vorhergehenden Einrichtung verschieden, dadurch, daß das Rad I K, welches die Bewegung auf irgend eine Maschine fortpflanzt, oben an der Mühlwelle sitzt. Man kann nämlich den Baum sehr zweckmäßig in der Höhe der Brust des Pferdes durch die Welle A B stecken, jedoch um Streben und Stützen, wie auch das Durchstecken eines einzelnen Baumes durch die Mühlwelle zu vermeiden, kann man auf eine ein-

fachere Weise auf jeder Seite der Mühlwelle A B die Bäume L M und N M an die Kreuzarme und an die Felgen des Rades nageln, oder die Theile I M und K M eines durchlaufenden einzelnen Baumes als Speichen des Rades benutzen, die man durch Querstreben u. s. w. mit andern Speichen oder Armen verbinden kann. An den Enden L und M des Baumes sind dann zwei hölzerne Gehänge m n und o p angebracht, an deren Enden n und p in der Höhe der Brust der Pferde die Zugstränge angehängt werden.

Sind seitwärts von der Mühlwelle noch Kammräder oder andere Hindernisse vorhanden, die nicht gestatten, daß der Mühlbaum in der Höhe der Brust des Pferdes durch die Mühlwelle gesteckt werde, so kann man durch höheres Anbringen des Baumes die Art des Zuges immer anwenden, welche in Fig. 42 angegeben ist, indem man nämlich den Baum im Nothfall durch nach oben gerichtete Streben r s Fig. 41, Nr. 1 mit der Welle verbindet, oder gegen ein zu starkes Zittern sichert, wenn kein Rad I K Fig. 42 in der Höhe des Baumes vorhanden ist, oder man behindert seyn sollte, denselben von unten zu stützen. Gleichwohl kann man alsdann häufig die Zusammensetzung, wenn auch nicht einfacher, doch wohlfeiler herstellen, wenn man die Bäume Fig. 43 in einer schrägen Richtung M L, M N vom obern Ende der Welle bis auf die Höhe der Brust des Pferdes laufen läßt; man verbindet sie in diesem Fall entweder unmittelbar mit der Welle A B oder mit einem Querholze M M und stützt sie so tief wie möglich durch kurze Streben O P, O Q.

Eine sehr einfache Roßmühle, die bei nicht sehr großen Dimensionen aus Gußeisen bestehen kann, ist in Fig. 44 angegeben. Die Bewegung wird hier

durch ein Seil, durch ein Tau oder eine Kette ohne Ende fortgepflanzt, welche unter dem Pferdepfad CD durch eine Büchse läuft. Die Einrichtung ist übrigens aus der Betrachtung der Figur leicht zu erkennen, da dieselben Buchstaben die entsprechenden Theile der vorhergehenden Figuren bezeichnen.

Aus diesen Beschreibungen ergibt sich nun, daß die besondern Einrichtungen von Roßmühlen einmal abhängig sind von den Umständen der Oertlichkeit und von der Einrichtung der Maschine selbst. Man muß jedoch soviel möglich dahin streben, den Mühlbaum an demjenigen Punkte der Mühlwelle zu befestigen, auf welchen, während die Maschine im Gang ist, der größte Druck ausgeübt wird, damit die Hälse und Zapfen der Wellen so wenig wie möglich gegen ihre Lager und Pfannen gedrückt, und die Reibung also nicht unnöthig vergrößert werde. Der Mühlbaum muß deshalb so nahe wie möglich am Räderwerk oder an den Scheiben angebracht werden, welche auf der Welle sitzen. Aber andern Theils muß dieser Baum auch mehr horizontal und in der Brusthöhe eines Pferdes über dem Mühlenpfad, als schräg und hoch angebracht werden, weil z. B. in dem Fall einer schrägen Stellung Fig. 43 die Hälse der Welle größere Torsion in ihren Lagern erfahren und gegen dieselben nicht so gleichmäßig gedrückt werden, als bei einer tiefern Anbringung des Baumes.

Bei der Bestimmung des Punktes der Mühlwelle, wo der Baum angebracht werden soll, ist deshalb sorgfältige Ueberlegung nothwendig, weil eine verkehrte Stellung desselben eine Vermehrung des Widerstandes der Reibung und eine nachtheilige Erschütterung und Schwankung der Welle um ihren Zapfen erzeugen kann, obschon es, ohne diese Folgen in Betrachtung zu ziehen, durchaus gleichgiltig

ist, wie der Mühlbaum gestellt und gerichtet ist, denn der eigentliche Hebel, an welchem das Pferd zieht, ist immer der senkrechte Abstand v w Fig. 42 bis 44 von der Mitte zwischen den beiden Zugsträngen bis zur Mitte der Welle.

Es hält gar nicht schwer, wenn man die Länge des Baumes und die Kraft kennt, die an seinem Ende zieht, seine Dicke zu bestimmen; dazu bedarf man keiner andern Regeln als derjenigen, welche in der III. Abtheil. des I. Theiles angegeben sind; allein man behalte stets im Auge, daß, obgleich der Baum unterstützt und aus diesem Grunde verstärkt wird, es dennoch wohlgethan seyn wird, seine Dicke zu bestimmen, als ob keine Unterstützung stattfände, denn diese dient besonders, um die Last des Baumes zu tragen, und um das Zittern desselben zu vermindern u. s. w. Ferner bestimme man die Dicke so, daß die Biegungen, welche durch das Ziehen am Baume erzeugt werden, gering werden, da das Ziehen durch Pferde niemals gleichmäßig geschieht, sondern immer ruckweise, so daß immer noch eine merkliche Biegung stattfinden wird, und wenn man dieselbe auch in der Berechnung als sehr gering angenommen hat. Dieses Biegen des Mühlbaumes läßt sich nun nicht gut durch eine Erschwerung desselben ganz beseitigen, ja es ist sogar ein Grad der Beugung sehr nützlich, damit die Wirkung des ruckweisen und ungleichförmigen Zuges der Pferde von weniger nachtheiligem Einfluß auf die Bewegung der Maschine seyn möge; die Biegung aber durch eine geringere Dicke des Baumes zu vergrößern, vermehrt den Widerstand und vermindert also die Quantität nützlicher Wirkung der Pferde, während der Baum wie eine Feder wirken muß, welche, nachdem sie durch eine gewisse Kraft gespannt worden, unmittelbar mit einer gleichen Kraft reagirt, die um

so nachtheiliger auf das Pferd wirkt, je größer die Biegung war.

Einzelne Theile der Einrichtung können aus der Betrachtung der Figuren hinlänglich entnommen werden, und was die Verbindungsarten der Welle mit den Bäumen, Stützen, Streben u. s. w. anlangt, ferner auch die Dimensionen dieser letzten Stücke, so möchte hier eine Erklärung und Bestimmung überflüssig seyn, da über dergleichen Punkte der Praxis bereits hinlänglich gehandelt ist in der 2. und 3. Abtheilung des 1. Theiles, wie auch im 3. Kap. der 1. Abth. des 2. Theiles. Es bleibt also nichts mehr übrig, als einige Angaben über die Größe des Mühlenpfades, von welchem die Schwere der ganzen Mühle größtentheils abhängt.

Es sey Fig. 45 der Umfang des Kreises mit dem Durchmesser A B C, den das Pferd beschreibt; es sey C D die Länge des Pferdes, so erfolgt das Ziehen am Baume B C in der Richtung C D, d. h. in der Richtung der Chorde C D, während, um den Baum mit der größten Kraft umzudrehen, der Zug senkrecht auf denselben, d. h. in der Richtung der Tangente C E erfolgen müßte. Die Länge eines Pferdes zu zwei Ellen angenommen (soviel beträgt der Abstand der Brust vom Haken C des Baumes), und die Zugkraft zu 100 Pfund berechnet, so läßt sich leicht berechnen, um wieviel diese Kraft durch den schrägen Zug an einem Baume von gegebener Länge vermindert wird; denn wenn C D die proportionale Größe der Zugkraft in der wahren Richtung C D vorstellt, so muß die Seite C E des Rechteckes C E D F proportional seyn dem Theile der Kraft, welche senkrecht auf den Baum B C wirkt, und durch welchen die Umdrehung eigentlich geschieht. Die Länge von C E muß dann nur berechnet werden.

Man setze die Länge des Baumes BC = a Ellen und ziehe die Linie AD, so ist ADC ein rechtwinkliges Dreieck, welches eine Hypothenuse AC von 2 a Ellen und eine Rechtecksseite CD = 2 Ellen hat, weshalb

$$AD = \sqrt{(AC^2 - CD^2)} = \sqrt{(4a^2 - 4)}$$
$$= \sqrt{4 \cdot (a^2 - 1)} = 2\sqrt{(a^2 - 1)}.$$

Wenn deshalb CD 100 Pfund proportional ist, so wird AC 100 Pfund $\times$ a Pfund, und AD $100 \cdot \sqrt{(a^2 - 1)}$ Pfund proportional seyn, indem CD, AC, AD proportional sind 2,2 a und 2 $\sqrt{(a^2 - 1)}$ oder proportional sind 1, a und $\sqrt{(a^2 - 1)}$. Die rechtwinkligen Dreiecke CDF und ADC sind einander ähnlich, deshalb sind die Seiten an den gleichen Winkeln proportional, d. h.

$$AC : AD = CD : FD$$
oder $$100\,a : 100\sqrt{(a^2 - 1)} = 100 : FD;$$
$$a : \sqrt{(a^2 - 1)} = 100 : FD$$
und ... $$FD = \frac{100}{a}\sqrt{(a^2 - 1)} = CE.$$

Mit dieser Formel sind die Zahlen berechnet, welche in der dritten Columne der weiter unten folgenden Tabelle vorkommen.

Je größer der Halbmesser des Mühlenpfades ist, oder auch je länger der Baum ist, an welchem die Pferde ziehen, desto weniger schräg wird die Richtung CD Fig. 45 der Zugkraft auf den Baum seyn. Dadurch wird die eigentliche Kraft CE, welche senkrecht auf den Baum ausgeübt wird, von der wirklichen Kraft der Pferde in der Richtung CD ausgeübt, auch um so weniger differiren. Dieses ergibt sich aus den unten stehenden Zahlen, welche durch Berechnung erlangt worden sind:

Angenommen, daß ein Pferd eine Länge CD von 2 Ellen hat und an einem Baume zieht, welcher lang ist:

so bildet die Richtung des Ziehens CD mit Bäumen von diesen Längen Winkel BCD, die etwa eine Größe haben von:

und wenn die Zugkraft in der Richtung CD 100 Pfd. beträgt, so wird sie an diesen verschiedenen Bäumen in der senkrechten Richtung CE betragen.

Länge des Baumes	Winkel BCD	Kraft in Richtung CE
$2\frac{1}{2}$ Ellen	66° 24'	91,64 ℔
3 "	70° 32'	94,28 "
4 "	75° 21'	96,75 "
5 "	78° 28'	97,98 "
6 "	80° 6'	98,51 "
7 "	81° 47'	98,97 "

Es besteht deshalb eine große Differenz zwischen der Richtung, in welcher ein Pferd an einem Mühlbaume von $2\frac{1}{2}$ Ellen, oder von 6 — 7 Ellen zieht; aber die Differenz zwischen der angewendeten und der senkrecht auf dem Baum zerlegten Kraft ist weniger groß, obschon diese Differenz an sich selbst und in Bezug auf eine lange Arbeitszeit genommen, bereits ansehnlich genug ist. Es wird jedoch diese Differenz durch die Erfahrung größer ge-

funden werden, als die oben stehenden Resultate einer Berechnung angeben; denn zuerst verliert man auch eben soviel an Geschwindigkeit, als an Zugkraft, und zum andern wird ein Pferd an einem kurzen Baume durch den äußern Zugstrang seitwärts gedrückt mit einer Kraft, welche F C Fig. 45 proportional ist, oder es muß einen großen Theil seiner Kraft verwenden, um in dem runden Mühlenpfade jedesmal zu wenden, oder umzukehren, wodurch der erwähnte Druck der Zugstränge auch noch vermehrt wird, so daß die daraus hervorgehende Ermüdung eine größere Verminderung in der Zugkraft zuwege bringen muß, als sich durch einfache Berechnung einer zerlegten Kraft nachweisen läßt. Die Arbeit an einem solchen Mühlbaume ist für das Pferd immer anstrengend und ermüdend, oder wenigstens weit ermüdender, als das Ziehen an Fuhrwerk. Um deshalb dem Pferde das Ziehen zu erleichtern und dadurch einen größern und anhaltendern Nutzeffect zu erlangen, so gebe man dem Baum einer Roßmühle soviel Länge, als nur möglich ist; gestattet es der Raum nur einigermaßen, so betrage diese Länge nicht unter 6 Ellen, doch größer als 7 Ellen braucht man sie auch nicht zu bestimmen, weil z. B. für 8 bis 10 Ellen Länge die Richtung des Zuges und die Quantität der Kraft senkrecht auf den Baum nur sehr wenig vortheilhafter werden würde, als wenn der Baum nur zu 6 Ellen genommen wird, während die ganze Maschine dagegen an Dimensionen oder an Schwere sich zu sehr vergrößern würde.

Der Nutzen eines großen Mühlenpfades im Verhältnisse zu einem kleinen besteht endlich noch, wie wir bemerken wollen, mit darin: daß die Rucke und Stöße des Pferdes am Baume vermindert werden, und daß deshalb die Maschine mit größerer

Regelmäßigkeit bewegt werden kann; denn diese Stöße und Rucke entstehen hauptsächlich aus dem Umstande, daß das Pferd durch das beständige Wenden keinen gleichmäßigen und schnellen Schritt halten kann; und da das Wenden in einem Mühlenpfade von z. B. 13 Ellen Durchmesser mehr, als noch einmal so leicht ist, als in einem Mühlenpfade von 6 Ellen Durchmesser, und da auch der Schritt in einem weitern Mühlenpfade geschwinder seyn kann, so müssen auch die Stöße und Rucke in geringerm Maße stattfinden, wenn sich das Pferd in einem weitern Kreise bewegt.

34) Die unregelmäßige und schwankende Bewegung, welche in einer Maschine stattfinden kann, welche durch die oben beschriebenen Roßmühlen in Bewegung gesetzt wird, haben Veranlassung gegeben, daß man sich auf verschiedene Weise nach Mitteln umgesehen hat, um von der Kraft eines Pferdes auf eine andere Weise und mit viel weniger Umständen Nutzen zu ziehen (da eine gut eingerichtete Roßmühle sehr viel Raum erheischt und hinsichtlich ihrer Zusammensetzung auch nicht sehr einfach ist); die Zugkraft eines Pferdes auf eine bessere oder einfachere Weise anzuwenden, ist nicht wohl möglich, und es kann deshalb allein durch das Gewicht eines Pferdes möglich werden, einen größern Nutzeffect zu erlangen. Wenn dieses möglich ist, so muß die Art und Weise, wie dieses geschehen soll, erst noch gefunden werden; denn alle die vorgeschlagenen oder versuchten, oder anderwärts gebräuchlichen Mittel, um Pferde, Ochsen u. s. w. durch ihr Gewicht auf Maschinen wirken zu lassen, mögen in einzelnen Fällen einmal von Nutzen seyn, aber im Allgemeinen sind sie mangelhaft und geben endlich zum Resultat keine große Verbesserung, die vor den gewöhnlichen Roßmühlen einen Vorzug hätte.

Durch diese Einrichtung werden die Pferde oder im Allgemeinen die Thiere stark ermüdet; bei jener Einrichtung können sie nur mit einem kleinen Theile ihres Gewichtes dazu beitragen, Bewegung einem Werkzeuge mitzutheilen.

Bei andern Einrichtungen haben die Theile, auf welchen die Pferde stehen, treten, stampfen oder arbeiten, besonders viel zu leiden; bei noch andern entstehen beschleunigte Bewegungen, starke Stöße 2c. und alle dergleichen Einrichtungen werden bei der gleichzeitigen Anwendung vieler Pferde viel weitschweifiger, als die gewöhnlichen Mühlen. Aus diesen Gründen wird eine Beschreibung der genannten, weniger gebräuchlichen Einrichtungen hier unnöthig.

Grundsätze der angewandten Werkzeugswissenschaft.

Dritten Theiles zweite Abtheilung.

Allgemeine Grundsätze des Gleichgewichtes und der Bewegung der Flüssigkeiten und der elastisch-flüssigen Stoffe.

Einleitung.

Man pflegt die Körper auf eine naturgeschichtliche Weise zu unterscheiden, mit Bezugnahme auf den Stand oder Zustand, in welchen wir sie in der Natur vorfinden. Dieser Zustand ist dreifach; denn ein Körper oder eine Substanz ist entweder fest, wie das Holz, die Metalle u. s. w.; oder flüssig, wie das Wasser, die vegetabilischen und animalischen Flüssigkeiten u. s. w.; oder dieser Zustand ist, gleich demjenigen der Luft, gasartig. Die flüssi-

gen Substanzen werden manchmal eingetheilt in vollkommen flüssige und in halbflüssige. Diejenigen der erstgenannten Art besitzen die Flüssigkeit im höchsten Grade; sie weichen dem geringsten Eindrucke, den sie in irgend einer Richtung empfangen; ihre Theile sind beweglich und haben keinen Zusammenhang. Man nennt sie tropfbar flüssige Substanzen, oder besser Flüssigkeiten. Unter sogenannten halbflüssigen Substanzen begreift man kleine körnerartige Körper, welche in gewisser, Quantität versammelt, mancherlei mechanische Wirkungen hervorbringen, welche mit denen der Flüssigkeiten einige Uebereinstimmung zu haben scheinen, obschon diese Uebereinstimmung sehr unvollkommen ist und keinen hinlänglichen Grund abgibt, die Substanzen, welche man flüssig nennt, in vollkommene und unvollkommene Flüssigkeiten zu unterscheiden. Der Sand, die Erdarten u. s. w. gehören zu diesen sogenannten halbflüssigen Substanzen. Diejenigen Substanzen, welche bei einem sehr großen Grade von Flüssigkeit und Leichtigkeit oder Feinheit zugleich auch die Eigenschaft besitzen, zusammendrückbar zu seyn und sich wieder auszudehnen, oder einen größern Raum einnehmen zu können, nennt man, wegen dieser Eigenschaften, elastische Flüssigkeiten, oder auch wohl luftförmige oder gasförmige Fluida, weil die Luft, in welcher und durch welche wir leben, zu dieser Art von Flüssigkeiten gehört.

Die elastischen Flüssigkeiten sind beständig, wenn sie, gleich der atmosphärischen Luft, durch keine uns bekannte Ursachen ihren Zustand verändern können, d. h. wenn sie nicht in eine unelastische Flüssigkeit übergehen können, sondern immer und unter allen Umständen in dem Zustande elastischer Flüssigkeit beharren. Dagegen gibt es

elastische Flüssigkeiten, welche, wie z. B. der **Dampf** des kochenden Wassers und anderer Flüssigkeiten, durch irgend eine Ursache, wie z. B. eine Abkühlung oder Condensirung ihren Zustand verändern, d. h. zu einer **tropfbaren Flüssigkeit** übergehen können. Diese Art elastischer Flüssigkeiten ist **unbeständig**; man nennt dieselben auch wohl **dampfförmige Flüssigkeiten**. Die tropfbaren und die elastischen Flüssigkeiten bringen, wenn sie gegenseitig auf einander und auf feste Körper wirken, Effecte hervor, die in gewissen Hinsichten Aehnlichkeit mit denen der festen Körper haben: sie haben Schwere, verursachen Druck, können bewegt werden und, bei einem Uebermaße des Druckes, einem Hindernisse Bewegung mittheilen. Sie bringen in dieser letzten Hinsicht die mächtigsten Resultate hervor, mit einem Worte, sie wirken als **Kräfte**.

Bevor wir über die Art und Weise handeln, wie diese Kräfte zur Bewegung von Maschinen benutzt werden können, muß man mit der **Art** und dem **Maße** derselben bekannt geworden seyn, d. h. man muß wissen, auf welche Weise sie Druck, Gleichgewicht und Bewegung gewähren können, und in welchem Verhältnisse der erste und letzte dieser Effecte stattfinden kann.

Hierzu dient nun diese Abhandlung, in welcher, gleichsam als in einer Einleitung zur Betrachtung der bewegenden Kräfte des Wassers, der Luft und des Wasserdampfes, die Gesetze des Gleichgewichtes und der Bewegung der tropfbaren Flüssigkeiten und der elastischen Flüssigkeiten der Hauptsache nach entwickelt werden sollen, d. h. nur insofern diese Grundsätze zum gehörigen Verständnisse der Wirkung und Anwendung der drei oben genannten hauptsächlichen bewegenden Kräfte erforderlich sind.

Erstes Kapitel.

Ueber den Druck und über das Gleichgewicht der Flüssigkeiten.

§. 1.

Ueber die Art und Weise, wie die Theile einer Flüssigkeit sowohl auf einander, als auf irgend ein Hinderniß Druck ausüben; Maß dieses Druckes u. s. w.

1) Alle Flüssigkeiten sind gleich jeder andern Substanz, gleich jedem festen Körper mit Schwere begabt; sie werden deshalb gegen Hindernisse drükken, oder auf Körpern, von denen sie getragen werden, gleich einem Gewichte lasten. Der Druck, welcher durch eine Flüssigkeit, z. B. durch eine Wassermasse, ausgeübt wird, entsteht deshalb aus der Schwere dieser Masse, d. h. aus der Schwere aller dieser Wassertheilchen zusammen genommen.

Also wird ein Theilchen d Fig. 1 einer Wassermasse a b C D, welches in einem Glase, in einem Fasse, oder in einer Kufe A B C D befindlich ist, durch das Gewicht aller derjenigen Theilchen gedrückt, welche bis an die Oberfläche des Wassers senkrecht über demselben liegen; mit den Theilchen e, f, g, h in derselben vertikalen Richtung c h in größerer Tiefe gelegen, tritt derselbe Fall ein, so daß der Punkt h des Bodens D C einen Druck erfährt, welcher gleich ist der Quantität der Drucke jedes der darüber liegenden Theilchen, d. h. gleich dem Drucke des Gewichtes aller Theilchen, welche in der Linie c h liegen. Jeder Punkt des Bodens trägt ein gleiches Gewicht, wenn man annimmt, daß die Wände der Tonne senkrecht auf dem Boden stehen

(obschon sich sogleich ergeben wird, daß diese Voraussetzung keineswegs nothwendig ist); und der ganze Boden trägt also ein Gewicht gleich demjenigen der ganzen Quantität Wasser, die sich in der Kufe befindet oder über diesem Boden steht, was in der Voraussetzung, daß die Wände überall senkrecht auf dem Boden stehen, sich schon aus der Natur der Sache ergibt. Dieser Druck läßt sich nach stereometrischen Regeln leicht berechnen; denn, wenn man den Inhalt des Raumes a b C D, den die Flüssigkeit einnimmt, nach Kubikellen, Palmen, Zollen u. s. w. berechnet und die Anzahl mit dem Gewicht einer Kubikelle, oder Palme derselben Flüssigkeit multiplicirt, so bekommt man die Quantität des ganzen drückenden Gewichtes.

Der Druck auf jeden Theil des Bodens nimmt mit der Höhe oder Tiefe der Flüssigkeit, die über demselben steht, verhältnißmäßig zu; denn, wenn z. B. eine Quadratpalm Oberfläche des Bodens gedrückt wird durch eine Wassersäule von 10 Palmen Höhe und sie deshalb das Gewicht von 10 Kubikpalmen Wasser, d. i. im Durchschnitte von 10 niederländischen Pfunden trägt, so wird diese Oberfläche natürlich von einem doppelten, dreifachen Gewicht u. s. w. gedrückt werden, sobald die Höhe der Wassersäule das Doppelte, das Dreifache rc. der ersten Höhe von 10 Palmen beträgt. Man wird nun aus dem Vorausgeschickten auf das Vollkommenste begreifen können, daß eine incompressible Flüssigkeit, wie Wasser, einen senkrechten Druck nach unten ausübt, und daß die Größe dieses Druckes gerade proportional ist der Höhe, von der Oberfläche dieser Flüssigkeit bis zu dem Punkte gerechnet, welcher gedrückt wird.

2) Aber wegen des flüssigen Zustandes drückt eine Flüssigkeit auch in seitlicher und in jeder andern Richtung, in welcher ihr ein Hinderniß entgegensteht. Man denke sich einen viereckigen Kasten mit Wasser gefüllt; wenn nun das Wasser nicht in seitlicher Richtung gegen die Wände des Kastens drückte, so würde es auch nicht ausfließen, sobald eine Wand mit einemmal weggenommen, oder eine Oeffnung in dieselbe gemacht würde. Die Erfahrung lehrt das Gegentheil, denn durch eine solche Oeffnung würde das Wasser sogleich ausströmen. Diese Bewegung des Wassers hat natürlich eine Kraft zur Ursache, welche keine andere seyn, oder vielmehr aus nichts anderem entstehen kann, als aus dem Drucke, welchen die oben gelegenen Wassertheile auf die untersten ausüben, von denen hier angenommen wird, daß sie ausströmen. Die Wassertheilchen sind nämlich beweglich und weichen deshalb beim geringsten Druck aus, den sie erfahren. Ist also eine Oeffnung in der Wand vorhanden, so ist auch zugleich Gelegenheit zum Ausweichen gegeben, und die Flüssigkeit muß durch die Oeffnung dringen. Sind die Wände fest mit einander verbunden und überall dicht, so ist auch keine Gelegenheit zum Ausweichen vorhanden; die Ursache, d. h. der Druck der oben liegenden Wassertheile bleibt aber dennoch vorhanden, und der Druck, durch welchen ein Wassertheilchen e Fig. 1 seitwärts verdrängt wird, wenn es durch keine Wand zurückgehalten ist, wird nun offenbar gegen diese Wand selbst ausgeübt.

Die Wand A D erfährt allein den Druck der Wassertheilchen, welche mit derselben in Berührung stehen, denn ein weiter entfernter Theil i wird zwar auch in der seitlichen Richtung i k gedrückt, da aber der Seitendruck sowohl nach rechts, als

nach links stattfindet, so drückt das Wasser bei k sowohl in der Richtung k i e, als in der Richtung k l, und der Druck von i auf k erfolgt deshalb nicht gegen die Wand des Gefäßes, sondern wird ganz und gar durch den Gegendruck von k auf i in der Richtung k i e ausgeglichen oder vernichtet, wenn nämlich, wie hier angenommen wurde, die Theilchen k i u. s. w. in einerlei Tiefe liegen, so daß sie durch die darüber gelegenen Wassertheile gleich stark gedrückt werden. Jedes Theilchen einer Flüssigkeitsmasse, welches in einer gewissen Tiefe liegt, wird dann durch den Druck der oben liegenden Theilchen seitswärts gegen alle Theilchen, welche in derselben Tiefe an dasselbe grenzen, gedrückt. Diese angrenzenden Theilchen erfahren einen gleichen Seitendruck und üben denselben wieder auf das erste und auf andere angrenzende Theilchen in der Runde aus. Durch diese gleichen Drucke und Gegendrucke, welche einander aufheben, können die Theilchen einander gegenseitig nicht verdrängen, und wo sie nicht an andern Theilchen, sondern an eine unbewegliche oder feste Wand grenzen, da wird der Seitendruck dieser Theilchen ganz und gar gegen diese Wand ausgeübt. Ist die Wand an dieser Stelle nicht dicht, sondern offen, so fließen die an dieselbe grenzenden Theilchen ab; diese hören also auf, gegen die nächstgelegenen Theilchen zu drücken; das Gleichgewicht zwischen den Drucken wird nach und nach von Theilchen zu Theilchen aufgehoben, und der Abfluß der Flüssigkeit muß also anhaltend stattfinden.

Da der senkrechte Druck einer Flüssigkeit dann auch seitlich den Theilchen derselben mitgetheilt wird, und da dieser senkrechte Druck, nach Art. 1., der Höhe genau proportional ist, so muß auch der Seitendruck vollkommen proportional seyn

der Höhe der Wassersäule, welche diesen Druck verursacht; mit andern Worten: so viel ein Theilchen senkrecht niederwärts gedrückt wird, um soviel wird dasselbe auch seitwärts gegen andere Wassertheilchen, oder gegen ein Hinderniß gedrückt.

Die Größe des Druckes einer Flüssigkeit gegen eine vertikale Wand ist dann ganz abhängig von der Höhe oder Tiefe und läßt sich deshalb sehr leicht aus der Summe der Drucke der einzelnen Theilchen entnehmen, welche über die ganze Höhe oder Tiefe mit der genannten Wand in Berührung stehen. Es sey z. B. A B Fig. 2 der Durchschnitt einer senkrechten Wand, welche eine Flüssigkeit, wie z. B. Wasser zusammenhält. Um nun den Seitendruck zu berechnen, der gegen diesen Durchschnitt ausgeübt wird, fälle man auf alle Punkte dieses Durchschnittes Perpendikel, wie C D, E F, G H und B I; man mache diese Perpendikel ihren entsprechenden Abständen von der Oberfläche des Wassers gleich, d. h. man mache C D = A C, E F = A E, G H = A G u. s. w., so sind diese Perpendikel der Länge nach den Seitendrucken proportional, welche senkrecht auf die Punkte A, C u. s. w. von der Wand A B ausgeübt werden, weil diese Drucke gleich sind den vertikalen Drucken A C, A E ꝛc. Addirt man deshalb die besondern Drucke C D, E F ꝛc. zusammen, so bekommt man den ganzen Druck, welcher auf die Wand A B ausgeübt wird. Die Summe der genannten Drucke ist nun gleich dem Inhalte des rechtwinkligen gleichschenkligen Dreiecks A B I; denn da überall A C = C D, A E = E F, A G = G H ist, so sind die Dreiecke A C D, A E F ꝛc. alle gleichschenklig und ähnlich; sie haben alle denselben Winkel B A I mit einander gemein, und die Seiten A D, A F, A H u. s. w. liegen deshalb auf

einander, d. h. die Enden D, F, H u. s. w. der genannten Perpendikel liegen in derselben geraden Linie A I, welche nachdem B I = A B gemacht worden, die Punkte B und I mit einander verbindet. Alle diese Perpendikel, so nahe an einander gestellt, als nur möglich, füllen dann die Fläche des Dreiecks A B I; zusammengenommen machen sie also den Inhalt des Dreieckes A B I aus.

Der Inhalt des Dreiecks ist

$$= BI \times \frac{1}{2} AB = AB \times \frac{1}{2} AB \text{ (weil } BI = AB) = \frac{1}{2} AB^2;$$

und hieraus läßt sich nun folgern, daß der Druck einer Flüssigkeit gegen den Durchschnitt AB einer vertikalen Wand proportional sei dem Inhalte des halben Vierecks AKIB, welches zur Seite hat die Linie AB, die gleich ist der Höhe der Oberfläche AK vom Boden BI.

Um genau die Quantität des Druckes in Pfunden auszudrücken, muß man den Quadratinhalt A B I (der z. B. in Quadratpalmen ausgedrückt ist) multipliciren mit der Schwere einer Quadratpalme der drückenden Flüssigkeit, was man jedoch nur auf eine uneigentliche Weise so sagen kann, weil eine Quadratpalm eine Oberfläche ist und keine Dicke, folglich auch keine Schwere haben kann.

Es habe aber die Wand eine Breite A a Fig. 3, so wird jeder über die Höhe genommene Durchschnitt, gedrückt durch ein Gewicht, welches dem Inhalte des Dreiecks A B I proportional ist. Alle diese Dreiecke zusammengenommen, machen gleichsam den körperlichen Inhalt des Prisma A B I i b a aus, weshalb der Druck gegen die ganze Wand A B b a gleich seyn wird dem Gewichte der Flüssigkeit, welche enthalten seyn kann in dem dreieckigen geraden Prisma A B i b a.

Die Berechnung hiervon ist sehr einfach: es sey z. B. A B b a eine Schleusenthür von der Breite A a = 2 Ellen, an welcher das Wasser bis zur Höhe A B = 1,8 Ellen steht, so ist der Inhalt des Dreiecks A B I = $\frac{1}{2}$ A B² = 0,9 · 1,8 = 1,62 Quadratellen; wird dieser Inhalt mit der Breite A a = 2 Ellen multiplicirt, so erhält man für den körperlichen Inhalt der drückenden Wassermasse A B I i b a, 1,62 × 2 = 3,24 Kubikellen = 3240 Kubikpalmen. Ein Kubikpalm Wasser wiegt im Durchschnitt ein niederländisches Pfund, so daß der ganze Druck gegen die Schleusenthür 3240 Pfund betragen muß.

Es kann noch die Aufgabe gestellt werden, den Druck zu berechnen, welcher ausgeübt wird gegen die innere Wand einer cylindrischen Röhre A B C Fig. 4, die im Lichten 1 niederländischen Zoll Durchmesser besitzt und bis zur Höhe a B von 76 niederländischen Zollen mit Quecksilber gefüllt ist, von welcher Flüssigkeit 1 Kubikpalm ungefähr 13,593 Pfund wiegt? Obschon die Röhre nur eine Weite von 1 Zoll hat, so ist, — da der Seitendruck gegen irgend einen Punkt, z. B. gegen den Punkt B proportional ist der Entfernung a B dieses Punktes von der Oberfläche a b, — dieser Seitendruck gleich dem senkrechten oder vertikalen Drucke, welcher auf einen Punkt d von gleicher Tiefe mit dem Punkte B durch die ganze Säule der oben liegenden Theilchen d e ausgeübt wird. Nimmt man nun B c = a B, so ist der Druck gegen die stehende Seite a B proportional dem Inhalte des Dreiecks a B c, d. h. proportional 7,6 × 3,8 = 28,88 Quadratpalmen. Der Umfang der innern Wandung ist = 3,1416 Zoll = 0,31416 Palmen, und da jede stehende Seite einen Druck erfährt, welcher 28,88 proportional ist, so ist der totale Druck auf die in-

nere Wand gleich dem Drucke des Gewichtes von 28,88 × 0,31416 × 9,0729 Kubikpalmen Quecksilber, dieses ist aber = 9,0729 × 13,593 = reichlich 123 niederländischen Pfunden.

Die Quecksilbersäule, welche in der Röhre eingeschlossen, ist und noch nicht einmal 1 niederländisches Pfund wiegt, erzeugt hier also auf die innere Wand den viel größern Druck von 123 niederländischen Pfunden. Diese mächtige Wirkung entsteht deshalb allein durch die flüssige Beschaffenheit, wegen welcher die Theilchen der Flüssigkeit in allen Richtungen durch das Gewicht der darüber liegenden Theilchen verdrängt werden müssen, wenn nicht ein unverrückbares Hinderniß diese Ausweichung verhinderte und die stattfindenden Drucke aushielt.

Um den Druck zu berechnen, welcher gegen einen Theil a B einer vertikalen Wand A B Fig. 2 ausgeübt wird, wenn dieser Theil unter der Oberfläche der drückenden Flüssigkeit liegt, braucht man blos die Summe der Drucke von a b = a A bis B I = A B zu bestimmen, d. h. den Inhalt des Trapeziums a b B I; dessen Inhalt mit dem Betrage der horizontalen Länge der Wand zu multipliciren und das Ergebniß von Kubikellen oder Palmen ꝛc. zu multipliciren mit der Schwere von einer Kubikelle oder Palme u. s. w. der drückenden Flüssigkeit.

8) Aus dem bewiesenen Satze, daß die Flüssigkeiten in allen Richtungen seitwärts drücken, und daß die Größe dieses Druckes allein abhängig ist von den Höhen oder Tiefen, auf welche der Druck unter der Oberfläche dieser Flüssigkeiten erfolgt, kann man die folgenden merkwürdigen Sätze ableiten:

a) Da die Größen des Drucks proportional sind den Höhen der drückenden Flüssigkeitssäulen, so muß die Wand A D einer Kufe oder einer Röhre Fig. 1, in der Richtung von unten nach oben, nach

und nach immer weniger gedrückt werden. Die Dicke der Wand braucht deshalb oben nicht so beträchtlich zu seyn als unten. Dieses kann manchmal in der Praxis von Nutzen seyn, um Stoff zu ersparen, oder eine Röhre u. s. w. zu erleichtern, die eine große Länge bekommen soll (im V. Kapitel dieser Abtheilung soll dieser Punkt näher erläutert werden).

b) Da der Seitendruck allein von der Höhe abhängt, so kann die Extension der Flüssigkeit für die Wand keine Vermehrung oder Verminderung des Druckes erzeugen. Die Wand oder Mauer eines engen Canales, welcher weniger breit als tief ist, wird deshalb eben so sehr gedrückt, als eine Mauer oder ein Deich, welche das Wasser eines großen Wasserbehälters zurückhalten. Nur durch Anstoßen, oder durch die Bewegung des Wassers gegen eine unbewegliche Oberfläche kann der Inhalt eines ausgedehnten Wasserbehälters eine nachtheiligere Wirkung gegen irgend ein Hinderniß hervorbringen, als das Wasser eines engen Canales, weil auf eine solche kleinere Extension die Bewegung des Wassers weniger heftig seyn wird, als wenn diese Extension größer ist.

c) Die Oberfläche eines stillstehenden Wassers ist ganz eben; diese Oberfläche ist horizontal oder macht einen rechten Winkel mit der Richtung eines Fadens, welcher an einem festen Punkte hängt und durch ein Gewicht gespannt ist. Denn eine solche Oberfläche kann nicht gebogen seyn, wie c a b Fig. 5, weil ein Theilchen b, c u. s. w., welches alsdann keinen seitlichen Widerstand findet, der Wirkung des Seitendruckes folgen und abfließen müßte. Ist deshalb alles in Ruhe, so muß jedes Theilchen der Oberfläche in jeder Richtung dieser Oberfläche einen gleichen Druck auf die nächst gelegenen Theil-

chen ausüben, oder durch dieselben überall gleich stark gedrückt werden, was der Fall seyn wird, wenn diese Oberfläche horizontal ist. Eine horizontale Fläche wird deshalb ganz eigenthümlich eine waagerechte Fläche genannt.

d) Wenn nun zwei vertikale Röhren A B und C D Fig. 6, mit einer und derselben horizontalen Röhre B C verbunden sind, und auf diese Weise mit einander communiciren, so wird eine Flüssigkeit, welche in den einen Schenkel A B gegossen worden, sogleich in den andern Schenkel C D überfließen, und es wird kein Gleichgewicht vorhanden seyn, oder vielmehr die schwankende Bewegung der Wassersäule wird nicht eher aufhören, als bis das Wasser in den beiden Schenkeln gleich hoch steht und deshalb die Oberflächen a b und c d in einerlei Horizontallinie a b c d liegen. Es ist nicht nöthig, daß die beiden Schenkel A B und C D der Röhre einerlei Weite oder Durchmesser haben; wie auch die Gestalt der communicirenden Röhren oder Gefäße E F, G H Fig. 7 bis 10 seyn möge, so kann bei dem Gleichgewichte der in beiden Gefäßen enthaltenen Flüssigkeitssäulen die Oberfläche e f Fig. 7 und 8 in keiner andern horizontalen Ebene liegen, als die Oberfläche g h; und die Höhe dieser Oberflächen ist also in beiden Gefäßen gleich. Denn, wenn wir i k als einen vertikalen Durchschnitt der horizontalen Röhre F H betrachten, so wird dieser Durchschnitt durch die Flüssigkeit e F seitlich in der Richtung k H gedrückt und von der Flüssigkeit h H in der entgegengesetzten Richtung k F; diese beiden Drucke werden gegen dieselbe Oberfläche, gegen dieselbe Anzahl von Flüssigkeitstheilchen i k ausgeübt, und da sie während des Gleichgewichtes und der Ruhe der ganzen Flüssigkeit vollkommen gleich seyn und einander vernichten müssen, so müssen die Höhen der drückenden

Wassersäulen e F und h H, vom Punkte k bis zu den Horizontallinien h m und e m gerechnet, vollkommen gleich seyn, weil der Druck allein abhängig ist von dieser Höhe und keinesweges von der Extension der drückenden Säulen. Folglich werden die Horizontallinien e m und h m nicht differiren, sondern beide zu einer und derselben Linie e m h gehören.

Die Wichtigkeit dieses Satzes in den Folgerungen, welche wir aus denselben ableiten werden, erforderte eigentlich eine ausführlichere Angabe der Ursachen desselben, obschon sie aus der täglichen Erfahrung allgemein bekannt und bestätigt ist, da z. B. das Wasser von Meeren, Canälen, Bassins, Brunnen u. s. w., die auf irgend eine Weise mit einander communiciren, immer auf gleicher Höhe stehen oder gleichen Wasserspiegel haben wird, wie beträchtlich oder unbeträchtlich die Wasseransammlungen auch seyn mögen.

4) Wenn man nur immer im Auge behält, daß das eigentliche Maß des Druckes einer Flüssigkeit die vertikale Höhe über dem Punkte ist, der gedrückt wird, so ist es auch nicht mehr schwer, den Druck auf eine Oberfläche zu berechnen, wie übrigens ihre Form und Richtung auch seyn möge.

Um deshalb den vertikalen Druck zu berechnen, welcher auf den gebogenen Boden D a b B Fig. 11 eines Gefäßes von einer Flüssigkeit ausgeübt wird, mit welcher dasselbe gefüllt ist, muß man die Oberfläche D a b B in sehr kleine Theile theilen, das Gewicht der Säulen a c, b d u. s. w. berechnen, welche auf diese Theile drücken, und alle diese Theile zusammenaddiren, um das totale Gewicht zu bekommen, welches natürlich gleich seyn muß dem Gewichte der Flüssigkeit in dem hohlen Theile D a b B und in der Säule E F B D, deren Durchmesser E F oder D B über die ganze Höhe sich gleich

ist. Die in den Räumen A E D, C F B zur Seite der Säule E F B D enthaltene Flüssigkeit vermehrt oder vermindert diesen Druck nicht im Geringsten, denn das Gewicht dieser Theile der Flüssigkeitsmasse wird von den Seitenwänden A D und C B getragen.

Eben so hat man, um den Druck zu bestimmen, welcher auf irgend einen Punkt einer schrägen oder gebogenen Wand, oder eines Bodens ausgeübt wird, und zwar in einer Richtung, die senkrecht auf dem gedachten Punkte der Wand oder des Bodens steht, allein Rücksicht zu nehmen auf die Höhe der Flüssigkeitssäule, welche auf diesen Punkt drückt. Der Punkt a des gebogenen Bodens D a b B wird deshalb nicht allein in der vertikalen Richtung a c, sondern auch in jeder andern Richtung und also auch in der Richtung a k senkrecht auf die Tangente l m des Punktes a durch das Gewicht einer Flüssigkeitssäule gedrückt, deren Höhe der vertikale Abstand a c des Punktes a von der Oberfläche der Flüssigkeit ist.

Hieraus kann man nun entnehmen:

1) Daß der Druck einer Flüssigkeit Fig. 12, auf eine schräge Wand oder Mauer A C in vertikaler Richtung von oben nach unten gleich ist dem ganzen Gewichte der Flüssigkeitstheile, welche in dem rechtwinkligen dreieckigen Prisma A C B enthalten sind, welches zur Basis den Durchschnitt A B C und zur Höhe die Breite oder Extension der Wand hat; und dieser Druck ist folglich gleich dem Inhalte des Prismas A B C, multiplicirt mit der Schwere der Flüssigkeit.

2) Daß der Druck in der horizontalen Richtung auf einen Punkt a, welcher gleich ist dem vertikalen Drucke a c, gefunden wird, indem man den Inhalt des Prismas berechnet, welches zum Durchschnitte hat das gleichschenklichte rechtwinklige Dreieck

BCE, und zur Höhe oder Länge die Breite oder Extension der Wand. Der horizontale Druck gegen eine schräge oder auch gegen eine gebogene Wand ist deshalb immer gleich dem horizontalen Druck gegen eine stehende Wand BC, deren Höhe gleich ist dem Abstande BC des Fußes C der Wand von der Oberfläche dieser Flüssigkeit.

3) Daß, da die Drucke senkrecht auf die Wand in den Richtungen if, ab, DC u. s. w. gleich sind den entsprechenden senkrechten Drucken fg, ac, CB u. s. w., die totalen senkrechten Drucke gefunden werden müssen, indem man das Gewicht des Wassers berechnet, welches in einem Prisma enthalten ist, dessen Durchschnitt das rechtwinklige Dreieck ACD ist (es ist CD = CB), und dessen Höhe die Extension oder Breite der Wand AC ist.

Der Inhalt dieses Primas z. B. in Kubikpalmen, multiplicirt mit der Schwere von 1 Kubikpalm Wasser, gibt das eben gedachte Gewicht; der Inhalt des Primas ist gleich seiner Höhe, multiplicirt mit dem Inhalte des Dreiecks ACD; dieser letzte Inhalt ist = AC × ½ CD, und nimmt man nun Aa = ½ AC, und zieht man ab senkrecht auf AC, so ist ab = ½ CD, aber es ist auch ab = ac, und deshalb ac = ½ CD, und der Inhalt des Dreiecks ACD ist deshalb = AC × ac.

Man nenne die Breite der Wand b, so ist der Inhalt des genannten Prismas = b × AC × ac; nun ist b × AC die Quadratoberfläche der Wand, welche gedrückt wird, und der totale Druck senkrecht auf die Wand ist deshalb gleich dem Gewichte des in einem Gefäße befindlichen Wassers, welches zur Länge und Breite die Länge AC und die Breite b der Wand, und zur Höhe den Abstand ac der Mitte a der

Wand von der Oberfläche AcB der drückenden Flüssigkeit hat.

Wenn die Wand AB Fig. 2 nicht unverrückbar wäre, sondern durch irgend eine Kraft, welche von außen in einer horizontalen Richtung aL auf dieselbe drückt, stehend erhalten würde, so würde der Wirkungspunkt a dieser Kraft natürlich in der Mitte von AB sich befinden müssen, wenn die Drucke auf jeden Punkt der Wand von oben nach unten sich gleich wären. Wird nun die Wand durch irgend eine Flüssigkeit in einer horizontalen Richtung gedrückt, und sind deshalb die Drucke den Höhen proportional, so ist der Fall ganz so, als ob die oben gedachte Kraft die Last eines Dreiecks ABI tragen müßte, dessen Schwere gleichsam in der horizontalen Richtung baL wirkte. Damit alsdann Gleichgewicht stattfände, d. h. damit die Kraft das Wackeln der Wand AB nach dieser, oder nach jener Seite hindere, müßte ihre Richtung durch den Schwerpunkt Z des Dreiecks laufen. Dieser Schwerpunkt liegt in der Linie ab, welche mit BI parallel läuft und einen Abstand aB ($= \frac{1}{3}$ AB) von der Basis BI hat. Also gegen den Punkt a der Wand AB muß eine Kraft senkrecht mit einem Kraftvermögen drücken, welches gleich ist dem Gewichte der ganzen drückenden Flüssigkeitsmasse ABI. Mag nun jeder Theil der Wand von der entsprechenden Wassersäule gedrückt werden, welche an diesen Theil grenzt, oder möge die Summe aller dieser Drucke auf dem Punkte a allein lasten, so ist doch in beiden Fällen die resultirende Wirkung dieselbe, und deshalb wird der Punkt a der **Mittelpunkt des Druckes** genannt. Der Ort dieses Mittelpunktes des Druckes differirt mit den verschiedenen Gestalten der Oberflächen, welche gedrückt werden; um ihn zu finden, muß man einen Weg einschlagen, welcher demjenigen sehr

nahe kommt, der zum Auffinden des Schwerpunktes geometrischer Figuren angegeben worden ist; jedoch können wir uns über diesen Gegenstand gegenwärtig nicht weiter verbreiten.

5) Oben ist bereits bemerkt worden, daß der Boden C D Fig. 13 eines Gefäßes mit trichterförmig zulaufenden Wänden nur gedrückt wird durch das Gewicht einer Flüssigkeitssäule A B C D, welche diesen Boden C D zur Basis und die Höhe A C der Flüssigkeit über dem Boden zur Höhe hat, so daß das mehrere Gewicht der im Raume E C D F enthaltenen Flüssigkeit nicht auf dem Boden lastet, sondern in der vertikalen Richtung auf die Wände E C und D F drückt.

In einem Gefäß oder in einer Röhre, deren Wände trichterförmig zulaufen Fig. 14, findet nun dasselbe statt, d. h. der auf den Boden A B ausgeübte Druck muß immer (wie auch die Figur der Wände des Gefäßes Fig. 15 und 16 seyn möge) als äquivalent betrachtet werden mit dem Druck einer Flüssigkeitssäule A M, die zur Basis den gedrückt werdenden Boden, und zur Höhe den vertikalen Abstand des Bodens von der Oberfläche der Flüssigkeit hat. Wie sonderbar dieses auch auf den ersten Blick erscheinen möge, und wie sehr man auch vielleicht geneigt ist zu glauben, daß der Boden A B Fig. 14 keinen größern Druck auszuhalten habe, als denjenigen des sämmtlichen Wassers A B C D: so wird man jedoch bei einer aufmerksamen Würdigung des Gegenstandes sich sehr leicht von der Richtigkeit des obigen Satzes überzeugen.

Für einen Theil a b des Bodens, welcher der Oberfläche C D gerade gegenüber liegt, ist der Satz schon nach einer Ansicht der Figur begreiflich; und was einen Theil A a oder B b anlangt, so erfährt

ein Punkt c oder h desselben zuerst einen Druck, welcher gleich ist dem Gewichte der Säule c e, oder h i; und sodann übt die Flüssigkeit gegen einen Punkt d oder i der Wände einen Druck aus, welcher gleich ist dem Drucke der Wassersäulen D f, oder C k von einer Höhe, die gleich ist den vertikalen Abständen d g und i l dieser Punkte d und i von der Oberfläche N M der Flüssigkeit. Dieser Druck wird nicht allein nach den Seiten in den Richtungen f d und k i, sondern auch in jeder andern Richtung ausgeübt, so daß auch jeder Punkt d oder i der Wände einen Druck erfährt in der vertikalen Richtung c d, oder h i von unten nach oben, welcher gleich ist dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule von der Höhe d g = f D oder i l = C k.

Diese Drucke müssen auch zurückwirken oder in entgegengesetzten Richtungen auf die Säule d c oder i k ausgeübt werden, so daß eine solche Säule dann noch gedrückt wird von einem Gewichte, das demjenigen einer Flüssigkeitssäule gleich ist, welche den Abstand d g oder i l von der verlängerten Oberfläche der Flüssigkeit zur Höhe hat. Ein Punkt c oder h des Bodens wird deshalb gedrückt von dem Gewichte der Säule d c, oder h i und von dem Druck, welchen die Wand im Punkte d oder i von unten nach oben erfährt, und welcher in einem gleichen Maße auf die Säule d e oder i k von oben nach unten zurückwirkt, so daß der ganze Druck auf den Punkt c oder h gleich ist dem Gewicht einer Säule, die zur Höhe hat den senkrechten Abstand c g oder h l dieses Punktes von der Oberfläche D C. Jeder Punkt des Bodens wird deshalb auf dieselbe Weise gedrückt, und da nun der totale Druck gleich ist dem Gewichte der Flüssigkeit in einer Säule A B M N, welche auf den ganzen Boden überall im gleichem Maße drückt, so ergibt

sich hieraus die Wahrheit des oben aufgestellten Satzes.

Wenn man die Gestalt der Wände des Gefäßes so bestimmt, daß eine geringere Quantität Flüssigkeit in demselben aufgenommen werden kann, als wenn die Wände überall senkrecht auf dem Boden stehen, so vermindert man die Quantität des Druckes auf den Boden und auf die Wände nicht, und die kleine Quantität Wasser in einer Röhre K L Fig. 15 und 16, die mit einem Gefäß L G H von geringer Höhe communicirt, übt deshalb auf den Boden G H denselben Druck aus, als die viel größere Wassermasse, welche das Gefäß K I H G, aufnehmen kann, das über die ganze Höhe überall einerlei Weite G H = K I besitzt. Diese mächtige und zu gleicher Zeit höchst merkwürdige Wirkung des Druckes der Flüssigkeiten ist von sehr großem Belang und hat zu wichtigen Anwendungen geführt, von denen wir eine weiter unten näher kennen lernen wollen.

6) Wenn zwei verschiedene Flüssigkeiten, die nicht vermengt werden können, wie z. B. Wasser und Oel in demselben Gefäße A D E Fig. 17 enthalten sind, so üben sie gegen die Wände des Gefäßes Drucke aus, welche an Größe verschieden sind. Die schwerste Flüssigkeit B D E muß natürlich den untersten Theil des Gefäßes einnehmen. Die leichtere Flüssigkeit A B C muß auf der Oberfläche B C der ersten Flüssigkeit getragen werden. Von A bis B wird die Wand allein gedrückt von der ersten Flüssigkeit, und diesen Druck mittelt man aus, wie oben angegeben worden; von B bis D erfährt die Wand einen Druck auf jedem Punkte, welcher gleich ist den Gewichten zweier Flüssigkeitssäulen, von denen die erste eine Höhe A B besitzt und aus der leichtesten Flüssigkeit besteht, während die zweite

und schwerere Flüssigkeit eine Höhe hat, die dem senkrechten Abstande des gedrückt werdenden Punktes von der Oberfläche B C gleich ist, welche die beiden Flüssigkeiten scheidet. Nach dieser Erläuterung wird es nicht nöthig sein, anzuzeigen, wie man den ganzen Druck, den die Flüssigkeiten gegen eine Wand oder gegen den Boden eines Gefäßes ausüben, welches verschiedene Flüssigkeiten (deren specifische Schwere man kennt) enthält, zu bestimmen hat.

Wenn die Oberfläche einer Flüssigkeit in ihrer ganzen Extension auf allen Punkten durch gleiche Kräfte gedrückt wird, so wird dieser Druck durch die ganze Flüssigkeitsmasse fortgepflanzt, und der Druck, den eine Säule dieser Flüssigkeit gegen ein Hinderniß ausübt, muß deshalb vermehrt werden um den Druck, welcher auf der Oberfläche dieser Säule stattfindet. Eine Scheibe, welche auf der Oberfläche einer Flüssigkeit in einer cylindrischen Röhre liegt und so genau schließt, daß keine Flüssigkeit zwischen der Scheibe und den Wänden der Röhre durchdringen kann, muß deshalb, wenn sie im Mittelpunkte mit etwas Gewicht beschwert ist, oder von irgend einer Kraft gedrückt wird, dieselbe Wirkung hervorbringen, als eine zweite oder höhere Flüssigkeitssäule, welche auf die erste drückt. (Der Druck der Luft auf die Oberfläche einer Flüssigkeit bringt eine ähnliche Wirkung hervor.) Dieser Grundsatz ist in der Praxis von großem Gewicht, wie sich sogleich bei der Beschreibung der Wasserpresse ergeben wird.

§. II.

Ueber das Gleichgewicht und den Druck von Flüssigkeiten in Röhren oder Gefäßen, welche mit einander communiciren; Erklärung der Einrichtung und Wirkung der Wasserpresse.

7) In Art. 3 ist bereits entwickelt worden, daß die Oberflächen einer Flüssigkeit in zwei mit einan-

der communicirenden Röhren Fig. 7 in diesen beiden Röhren dieselben horizontalen Höhen haben, wie auch die Gestalt und die Dimensionen der beiden Röhren seyn mögen. Dieses ist jedoch nur der Fall, wenn die Röhren mit derselben Flüssigkeit gefüllt sind, nicht aber, wenn sich in jeder Röhre eine verschiedene Flüssigkeit befindet, wobei gleichwohl vorausgesetzt ist, daß diese Flüssigkeiten unvermengbar sind.

Man gieße z. B. in die eine von zwei communicirenden Röhren Fig. 18, in welcher irgend eine Flüssigkeit sich im Gleichgewichte befindet, eine andere Flüssigkeit; es soll z. B. in den Röhren Wasser enthalten seyn, und man gieße auf die Oberfläche des Wassers in der Röhre A B Oel, so werden, wenn nach einigen Augenblicken das Gleichgewicht sich wieder hergestellt hat, die Höhen der beiden Säulen C D und A B (von der horizontalen Ebene B E C gerechnet, welche durch die Scheidung B dieser Flüssigkeiten in der einen Röhre läuft) sich umgekehrt, wie ihre Schweren verhalten. Denn beim Gleichgewichte muß ein Durchschnitt a b der Röhre C b B durch die Flüssigkeitssäulen in beiden Röhren gleich stark in zwei entgegengesetzten Richtungen gedrückt werden; und da die Dimensionen der Röhren C D und A B hierin nichts ändern, so muß eine Säule der Flüssigkeit C D auf eine gewisse Oberfläche (von z. B. 1 Quadratzoll) eben so stark drücken, als eine Säule der Flüssigkeit A B auf eine gleiche Oberfläche. Die Gewichte beider Säulen müssen deshalb gleich seyn. Wenn dann die Säule C D eine Höhe hat von a Zollen und die Säule A B eine Höhe von b Zollen, so werden die Kubikinhalte dieser Säulen a und b Zollen proportional seyn, weil ihre Basen einander gleich sind.

Das Gewicht eines Cubikzolles der ersten Flüssigkeit betrage p Wigtjes (1000 Wigtjes = 1 Kilogramm), und das der zweiten q Wigtjes, so werden die Gewichte derselben Säulen a p und b q Wigtjes proportional seyn. Da nun diese Gewichte einander deshalb gleich seyn müssen, so wird a p = b q seyn müssen, woraus die Proportion

$$a : b = q : p$$

sich ergibt, d. h. nämlich, die Höhe der ersten Säule verhält sich zu derjenigen der zweiten, wie die Schwere der Flüssigkeit der zweiten Säule zu derjenigen der ersten. Diese Höhen verhalten sich deshalb umgekehrt, wie die specifischen Schweren der beiden Flüssigkeiten, und es leuchtet von selbst ein, daß wenn die Gewichte der beiden Säulen einen gleichen Druck auf dieselbe Oberfläche a b ausüben, die eine Säule in dem Verhältnisse höher seyn muß, als die andere, in welchem eine gewisse Quantität Flüssigkeit der ersten Säule weniger wiegt, als eine gleiche Quantität Flüssigkeit der zweiten Säule. Wenn deshalb die Schwere des Wassers zur Schwere des Oels sich wie 10 zu 9 verhält, so muß das Oel in der Röhre A B 20 Zoll hoch über der Ebene C E B stehen, während das Wasser in der zweiten Röhre C D über derselben Ebene eine Höhe von 18 Zollen hat. Man besitzt hierdurch ein Mittel, die relative Schwere unvermengbarer Flüssigkeiten durch die bekannte Schwere einer dieser Flüssigkeiten bestimmen zu können, ohne sie zu wägen. Für diesen Zweck gibt es indessen mehrere ausreichende Verfahrungsarten, deren Erläuterung indessen ganz außer dem Plane dieses Werkes liegt.

8) Wenn auf die Oberfläche C D Fig. 19 keine zweite Flüssigkeit drückt, sondern wenn eine Kraft auf alle Punkte dieser Oberfläche gleichmäßig drückt,

um das Gleichgewicht herzustellen mit dem Drucke der Säule A B E in der zweiten Röhre, so ist es nicht schwierig, die Größe dieser Druckkraft zu berechnen. Man nehme z. B. an, daß die Röhre a b bei C D mit einem festen Deckel verschlossen sey und daß, nachdem man die Horizontallinie D C B gezogen hat, die Höhe der Flüssigkeit in der Röhre A B E sich nur bis zu dieser Linie erstrecke, so muß zwischen den Säulen D b und B E ein vollkommenes Gleichgewicht bestehen; reicht jedoch die Höhe der Flüssigkeit in der zweiten Röhre über die Linie B D = A B, so theilt der Druck dieser Säule sich der Flüssigkeit B E b D mit und wird in der Richtung von unten nach oben gegen die obere Wand D C ausgeübt.

Dieser Druck theilt sich nothwendig jedem Theile der Flüssigkeit mit, wird folglich gegen jeden Punkt der Fläche D C in demselben Maß ausgeübt, und da er an Größe proportional ist der Höhe A B der drückenden Säule, so wird die Größe des Druckes gegen die Fläche D C nach dem, was in Art. 5 bewiesen worden ist, gleich seyn dem Gewicht einer Säule der drückenden Flüssigkeit, welche zur Basis die Oberfläche C D, und zur Höhe den Ueberschuß der Länge B A der Flüssigkeitssäule in der zweiten Röhre E B A über diejenige der ersten Röhre D b hat. Ist nun die Wand oder die Oberfläche D C nicht fest mit den Wänden der Röhre D b verbunden, sondern ist sie beweglich, so muß nothwendig die Kraft, welche auf dieselbe drückt, um der Bewegung, oder dem Steigen entgegenzuwirken, eine gleiche Druckkraft ausüben, als die eben erwähnte Säule; auf diese Weise wird alsdann das Maß dieser Kraft bekannt.

Ist die Röhre A B viel weiter, als die Röhre D C, so wird der Druck gegen die Fläche C D in

dem Verhältnisse geringer seyn, als das Gewicht der drückenden Säule A B, wenn die Oberfläche C D kleiner ist, als die Oberfläche des Durchschnittes der Röhre A B.

Aber wenn die Oberfläche C D viel größer ist, als der letztgedachte Durchschnitt, so muß der Druck auf C D in dem Verhältnisse größer seyn, als das Gewicht der Säule A B beträgt, weil die erste Oberfläche größer ist, als die letzte. Was hier gesagt ist, ist nur eine besondere Entwickelung, oder eine Modificirung dessen, was in Art. 5 bewiesen worden.

Aus Obigem folgt nun ganz unmittelbar, daß eine geringe Quantität Wasser, welche eine enge Röhre bis zu einer ansehnlichen Höhe A B füllt, einen sehr großen Druck ausüben kann gegen eine Oberfläche D C, welche in einer weitern Röhre C D (welche mit der ersten E B A communicirt) befestigt ist, oder auch gut schließt und mit einem großen Gewichte belastet ist. Ist die Röhre A B zu kurz, als daß man, um einen bestimmten Druck auszuüben, der Wassersäule A B die erforderliche Höhe geben kann, so kann man diesen Mangel dadurch ersetzen, daß man auf die Oberfläche A den besondern Druck einer Kraft wirken läßt, welcher natürlich sehr gering zu seyn braucht, wenn man in Betrachtung zieht, daß das Gewicht der fehlenden Wassersäule nicht sehr groß seyn kann, da die Röhre A B eine geringe Weite besitzt.

Mit einem Apparate, welcher, was den Effect und die hauptsächliche Einrichtung betrifft, gleich ist demjenigen von Fig. 19, kann man alsdann mit einem geringen Druck ein großes Gewicht emporheben, welches auf eine bewegliche Oberfläche C D drückt; oder gegen diese Oberfläche, es sey dieselbe fest oder beweglich, einen großen Druck oder eine Pressung ausüben, welche, wenn C D beweglich ist,

anderen mit der Oberfläche CD in Berührung befindlichen Körpern mitgetheilt werden kann. Die Größe des gehobenen Gewichtes, oder der ausgeübte Druck wird demnächst erkannt aus dem Druck, welchen der Durchschnitt der Röhre EBA im Punkte B erfährt, so vielmal genommen, um wie vielmal die Oberfläche CD größer ist, als der genannte Durchschnitt.

Auf die erste Weise hat man von dem Apparate Fig. 19 eine Anwendung gemacht zur Herstellung einer besondern Art von Waage einer sogenannten Brückenwaage, deren man sich bedient, um schwere Lasten von großem Umfang, wie z. B. schwere Fuhrwerke, Fracht- und Postwagen u. s. w. zu wägen.

Auf die zweite Weise hat man denselben Apparat zur Herstellung einer Maschine benutzt, welche die Wasserpresse heißt und dazu dient, um gewisse Stoffe oder Körper einen starken Druck erfahren zu lassen. Die Menge von Gegenständen, welche jetzt abgehandelt, oder auch nur berührt werden müssen, gestattet keine Beschreibung der erst genannten Maschine, jedoch von letzterer wollen wir wenigstens angeben, wie dieselbe eingerichtet ist, oder eingerichtet werden kann.

9) Die Wasserpresse oder hydraulische Presse ist im Durchschnitte dargestellt in Fig. 20. Im Allgemeinen muß dabei bemerkt werden, daß es kein wesentliches Erforderniß ist, daß einige Ventile, Hähne, Röhren, oder Canäle immer so angebracht sind, wie in der Figur angegeben ist, denn nach den Zwecken und Umständen werden manche Theile auch anders placirt, und hier ist die Form und die Stellung der Stücke blos deswegen so gewählt, wie die Figur zeigt, um durch eine einzige Figur (und also ohne verschiedene Figuren der

Theile) die Einrichtung der ganzen Maschine zeigen zu können.

A G G ein großer Cylinder von Eisen oder Kanonenmetall gegossen; B eiserner oder metallener Kolben, welcher, wenn die Weite des Cylinders groß ist, hohl gegossen werden kann. Dieser Kolben ist verbunden mit der massiven Brücke C C, welche in Nuthen läuft, zwischen den Säulen D D, die in den eisernen Boden z z des Cylinders G G eingelassen sind und mit demselben sowohl, als wie mit einem festen hölzernen Fußstück E E durch starke Schrauben unverrückbar befestigt sind. Oben sind Schrauben an diese Säulen geschnitten, welche durch ein massives Querstück oder durch die Decke F F laufen, über welcher sie durch Schraubenmuttern y y festgestellt sind. Zwischen dieses Querstück und die Brücke C C werden nun die Frachtgüter oder die Dinge gebracht, welche zusammengedrückt oder ausgepreßt werden sollen. Bestehen diese Säulen aus Holz, so wird die Verbindung derselben mit dem Fußstück und dem obern Stück etwas anders, jedoch die Form der Maschine verändert sich dadurch nicht. Dieses findet nur statt, wenn der Cylinder G G eine hohe Stellung besitzt, und das Pressen unten, oder gegen den Boden des Cylinders erfolgt. Die Brücke C C ist dann durch Stangen, welche durch den Boden z z laufen, mit einer zweiten beweglichen Brücke verbunden, auf welche die zu pressenden Stücke gelegt werden.

Außer bei den Punkten a a ist der Cylinder weiter, als der Kolben dick, so daß der Kolben, um die Reibung zu vermindern, nur auf einer kleinen Strecke a a mit der Wand des Cylinders in Berührung steht, und der Cylinder, außer bei a a, nicht ausgebohrt zu werden braucht. Wie genau der Cylinder bei a a ausgebohrt und wie sorgfältig

auch der ganze Kolben abgedreht seyn mag, so wird doch der Schluß des Kolbens im Halse a a des Cylinders nie so vollkommen seyn, daß nicht beim Pressen Wasser oder Oel durchdringen könnten. Um dieses nun zu verhindern, hat der Cylinder von oben einen breiten Rand, auf dessen Boden ein schmaler Rand a a steht, welcher den ganzen Kolben umgibt. Um diesen Rand ist ein doppelter lederner Ring b b gelegt, welcher den Raum zwischen dem Kolben und den Wänden des Randes vollkommen füllt. Dieses Leder wird angedrückt und an seiner Stelle erhalten durch einen Deckel c c', welcher auf den Cylinder geschraubt wird, und durch welchen der Kolben bei c c' genau schließend seinen Weg nimmt. Dieser Deckel ist oben bei e e schaalenförmig ausgedreht, um mit Werg, das stets in guter Oelung erhalten wird, dicht ausgefüllt und alsdann mit einem platten Ring d d bedeckt zu werden.

Auf diese Weise kann der Kolben, wie man es zu nennen pflegt, vollkommen wasserdicht im Cylinder bewegt werden, während er durch das geölte Werg stets schlüpfrig erhalten wird, um sich sanft bewegen zu können und keine rauhe und stark abnutzende Reibung zu erfahren.

I' I' der kleine Cylinder; K K der metallne Kolben des kleinen Cylinders, dessen Stange bis N durch ein rundes Oehr (verbunden mit einem festen Stützpunkt oder Theil O O P) läuft, um durch den Hebel Q R S ganz vertikal bewegt werden zu können. Dieser Hebel dreht sich um einen Bolzen, welcher in verschiedenen Entfernungen vom Kolben durch die Löcher k, k, k des festen Stückes O O P gesteckt werden kann; er ist nicht fest mit dem Kolben K K verbunden, wirkt aber bei R, wie eine Hebelatte auf einen Daumen, an der obern und

untern Seite des Loches M, welches mit der Stange MN und dem Kolben KK verbunden ist; S ist ein Gegengewicht, um die Schwere des Hebels zu balanciren.

Die Dicke des kleinen Kolbens KK ist, wie diejenige des Kolbens B, geringer, als der Cylinder weit ist, in welchem er bewegt wird; er wird auch bewegt durch einen nett ausgebohrten Deckel ii, welcher mit geölten Werg gefüllt ist und die zwei ledernen Kragen hh, ff andrückt, die abgeschieden sind durch den zwischen ihnen liegenden Ring gg. Diese Kragen drücken an den Kolben kk und können nach Erforderniß immer stärker angedrückt werden, wenn man den Deckel ii fester anschraubt, ganz so wie dieses auch bei dem größern Cylinder GG geschieht *).

Da die Communication zwischen dem großen und kleinen Cylinder hergestellt ist durch eine Röhre IIHH (deren Verbindung mit den beiden Cylindern aus der Betrachtung der Figur leicht zu entnehmen ist), so liegt es auf der Hand, daß, wenn der kleine Kolben durch eine Kraft gedrückt wird, der Effect gleich seyn muß dem Druck einer Wassersäule, z. B. im Cylinder I'I' (welcher für diesen Zweck eine hinlängliche Höhe besitzt), und wenn dieser Druck fortgepflanzt wird durch das Wasser, welches den Cylinder A und die Röhre IIHH füllt, so wird er gegen den Kolben BB in um so größerem Maß ausgeübt, in welchem der Durchschnitt des Kolbens B größer ist, als derjenige des Kolbens K, so daß bei einem hinlänglichen Druck

*) Die Figur ist nach keinem bestimmten Maßstabe gezeichnet; zur Deutlichkeit der Abbildung der verschiedenen Theile wird erfordert, den kleinen Cylinder, die Büchsen, die Liderung u. s. w. verhältnißmäßig größer darzustellen, als den großen Cylinder und die Presse.

der Kolben B steigen und auf andere Körper einen starken Druck ausüben kann. Gesetzt z. B. der Kolben B habe einen Durchschnitt von 200 Quadratzollen während der Kolben K einen Durchschnitt von 8 Zoll Oberfläche besitzt, so verhalten sich diese Durchschnitte zu einander, wie 1 zu 25; es betrage nun die Länge des Hebelarmes Q k eine Elle oder 100 Zolle, während R k = 10 Zoll ist, so verhalten sich die Längen der Arme R k und Q k zu einander, wie 1 zu 10. Wenn nun ein Arbeiter am Ende Q einen Druck ausübt von 20 Pfunden, so wird der Kolben bei R einen Druck von 200 Pfund erfahren; dieser Druck wird gegen den Kolben B 25mal größer und beträgt also 5000 Pfund. Daß nun die Einrichtung der Maschine zur Ausübung dieses großen Druckes viel compendiöser ist, als wenn der Druck durch eine Wassersäule statt durch einen Kolben ausgeübt wird, läßt sich leicht daraus abnehmen, daß eine solche Säule für einen Durchschnitt von 8 Zollen eine Höhe von 250 Ellen haben müßte, um mit 200 Pfund Gewicht zu drücken. Da nun eine solche Höhe ziemlich außer den Grenzen der Möglichkeit liegt, so setze dieselbe einmal = 5 Ellen, so ist der Druck der Wassersäule 4 Pfund, und der Durchschnitt des Kolbens B muß deshalb, um einen Druck von 5000 Pfund zu empfangen, eine Oberfläche von 10000 Quadratzoll haben, folglich einen Durchmesser von mehr als 1 niederländischen Elle.

Der Vortheil, den die beschriebene Einrichtung der Presse vor derjenigen voraus hat, die sich auf eine natürliche Weise dem Verstande darbietet, ist deshalb ganz einleuchtend, und es ist daher ein vernünftiges und sehr fruchtbares Beispiel gewesen, den Druck einer Wassersäule durch denjenigen einer

Kraft, welche auf einen massiven Kolben ausgeübt wird, zu ersetzen *).

Eine Wassersäule würde, wie sich aus dem ergeben wird, was wir sogleich über die Wirkung der Presse mittheilen wollen, einen geschwindern Effect hervorbringen, doch kann dieses nicht die compendiösere Einrichtung einer Presse, so wie auch den Vortheil aufwiegen, dieselbe auf verschiedene Weise anzuwenden, während man es auch zugleich in der Hand hat, die Kraft der Presse durch eine kleine Verminderung des Durchschnittes des kleinen Kolbens und durch eine mäßige Vergrößerung des Durchschnittes des großen Kolbens fast nach Belieben zu vergrößern; denn trotz des nicht geringen Widerstandes der Reibung der Kolben kann diese Kraft leicht bis auf 50000 oder bis auf 100000 Pfund und mehr gebracht werden, wenn man auch zwei oder mehr Arbeiter an dem Hebel QR wirken läßt.

Wenn der kleine Kolben niedergedrückt wird, so muß der große Kolben B steigen; und nehmen wir den Durchschnitt des kleinen Kolbens zu 8 Zoll an, und daß er 10 Zoll tief niedergedrückt werde, so wird er natürlich einen Raum einnehmen, welcher = 80 Kubikzoll beträgt; das Wasser in diesem Raume vor dem Niederdrücken des Kolbens muß deshalb in den großen Cylinder verdrängt werden, und der große Kolben B muß deshalb so viel steigen, daß er einen kleinern Raum von 80 Kubikzollen, als vor dem Steigen im Cylinder einnimmt, um dem Wasser Raum zu machen, welches in den

*) Obschon dieses Beispiel nicht neu war, wurde es doch erst praktisch angewendet im Jahre 1796 von dem englischen Mechanikus Bramah, dem Erfinder der Wasserpresse. Er machte auch von seiner Presse verschiedene Anwendungen.

Cylinder A gepreßt wird. Da nun der Inhalt des Durchschnittes des Kolbens = 200 Quadratzoll beträgt, so wird das Steigen desselben $\frac{80}{200} = \frac{2}{5} = 0{,}4$ Zoll betragen, denn $200 \times 0{,}4 = 80$ Kubikzoll. Diese Quantität der Fortbewegung verhält sich deshalb zu derjenigen des kleinen Kolbens, wie 0,4 zu 10 d. i. wie 4 zu 100 oder wie 1 zu 25. Dieses Verhältniß ist ganz dasjenige, welches zwischen den Oberflächen der Durchschnitte der Kolben besteht, und obgleich man alsdann mit geringer Kraft einen sehr großen Druck gegen den großen Kolben B ausüben kann, so muß jedoch der Raum, den die Last durchläuft, in demselben Verhältnisse kleiner seyn, als derjenige, welchen die Last durchläuft, wenn der Druck der Kraft kleiner ist, als derjenige der Last. Dieses ist eine unmittelbare Folge des Grundsatzes der Mechanik, daß man eben soviel an Zeit oder an Geschwindigkeit verliert, als man an Kraft gewinnt, so daß, um den großen Kolben B 5 Zoll aufwärts zu bewegen, der kleine Kolben einen Raum durchlaufen muß von $5 \times 25 = 125$ Zollen; man muß folglich $12\frac{1}{2}$ Kolbenzüge, jeden von 10 Zollen thun, und bei jedem Zug muß der Punkt Q des Hebels einen Raum von 1 Elle durchlaufen. Bestimmt man diesen Raum auf $\frac{1}{2}$ Elle, so wird der kleine Kolben nur um 5 Zoll niedergedrückt und es werden 25 Kolbenzüge nöthig seyn, um den großen Kolben 5 niederländische Zolle steigen zu lassen.

Das Steigen des großen Kolbens und der Druck, welcher dadurch auf andere Körper erzeugt wird, kann nun in gewisser Hinsicht beliebig erlangt werden, indem man den kleinen Kolben K mehrmals hebt und niederdrückt. Aber um dieses zu bewerkstelligen, muß das im Cylinder A gepreßte Wasser verhindert werden, zurückzufließen, wenn der Kolben

K gehoben wird, und den Raum offen läßt, den er vorher einnahm. Hierzu dient das cylindrische kupferne Ventil U, welches sich in der Büchse V U frei bewegen kann. Unten ist dieses Ventil konisch abgedreht und schließt vollkommen die konische Oeffnung x der Röhre I I, so daß, wenn das Ventil durch seine Schwere gefallen ist, die Communication zwischen dem großen und kleinen Cylinder vollkommen geschlossen ist. Oben ist das Ventil rund, um durch die Wände der Büchse V U gestützt zu werden; jedoch zwischen dem Kopf und der Basis ist das Ventil ausgehöhlt, um die Berührungsoberfläche mit den Wänden der Röhre zu vermindern, und also die Reibung, wenn das Ventil fällt und gehoben wird, ebenfalls zu vermindern. Damit nun das Ventil, wenn es durch den Druck des Wassers beim Niederdrücken des Kolbens K K gehoben wird, nicht sammt dem Wasser aus der Büchse V U getrieben werde, ist diese Büchse wasserdicht mit einem Schraubendeckel V verschlossen, welcher abgeschraubt werden kann, wenn es sich nöthig macht zur Herstellung, oder zur Reinigung der Röhre das Ventil U aus der Maschine zu nehmen.

Wird der kleine Kolben niedergedrückt, so wird das Ventil U gehoben und das Wasser in den großen Cylinder A getrieben. Beim Hub des Kolbens K K fällt das Ventil U, das durchs Ventil gepreßte Wasser wird verhindert, zurückzufließen, und es entsteht deshalb eine Verminderung des Wassers im Cylinder, oder im Stiefel des kleinen Kolbens. Dieser Mangel nun wird ersetzt durch das Wasser in einem Reservoir L L unter dem Cylinder I' I', mit welchem es durch ein Kegelventil r communicirt, welches in einer Büchse in der Röhre s t gerade auf und nieder spielen kann und unten mit einem Knopfe versehen ist, um beim vollen Hub mit dem-

selben gegen den Boden des Cylinders I'I' zu stoßen. Wird nun der Kolben K K niedergedrückt, so bleibt das Ventil r durch eigene Schwere und durch den Druck des Wassers im Cylinder I'I' verschlossen; aber bei dem Hub dieses Kolbens und wenn der oben erwähnte leere Raum entsteht, so wird das Wasser L L entweder durch den Druck einer besondern Wassersäule, oder durch den Druck der Luft auf die Oberfläche dieses Wassers L L (man vergleiche über die Wirkung dieses Druckes das folgende Kapitel) durch den Rost u v zur Abhaltung der Unreinigkeit in die Röhre s t getrieben, das Ventil r wird dadurch gehoben, und das Wasser tritt in den Cylinder I'I', um den vorhandenen Mangel wieder zu ersetzen. 'T ist eine Oeffnung im Deckel des Reservoirs L L, welche dazu dient

1) um diesen Reservoir mit Wasser füllen zu können,

2) um denselben mittelst eines Hebers ausleeren zu können,

3) um die Luft in den Reservoir treten lassen zu können. Diese Oeffnung kann mit einem Stöpsel, der mit einem Luftloche durchbohrt ist, verschlossen werden, und statt den Reservoir mit einem Heber auszuleeren, kann man natürlich unten an demselben einen Hahn anbringen.

n o ist ein Stöpsel, in eine Büchse geschraubt, welche mit der Röhre I I H H communicirt; ist diese Schraube stark angezogen, so ist auch die genannte Büchse geschlossen, aber wird die Schraube um einige Gänge zurückgedreht, so communicirt die Röhre mit der Büchse und mit der seitenständigen Röhre q, aus welcher das Wasser der Presse fließt; der Kolben B wird dann niedergehen, und das Pressen hört auf.

Endlich ist noch ein Stöpsel W vorhanden, der unten konisch abgedreht ist und die Röhre ww, welche mit der Röhre IIHH communicirt, ebenfalls vollkommen verschließt. Oben wird dieser Stöpsel gedrückt durch ein Gewicht Z, welches an einem Hebel der zweiten Art XY hängt, der sich bei X um einen Nagel dreht. Dieser Stöpsel dient dazu, die Größe des Druckes zu reguliren, denn der Druck, welcher gegen seine Basis ausgeübt wird, ist um so viel kleiner, als der Druck gegen den Cylinder B, um wieviel die Basis kleiner ist, als die Oberfläche des Durchschnittes des Kolbens B. Folglich kann dieser Druck sehr leicht durch das Gewicht Z äquilibrirt werden; aber wenn der erste Druck größer wird, als der erste, so muß der Stöpsel W gehoben werden, und das Wasser aus dem Röhrchen m fließen, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist. Der Stöpsel W ist deshalb vorhanden, um zu verhindern, daß der Kolben B nicht mehr, als einen bestimmten Druck erfahre, kann aber auch dienen, um das Maß dieses Druckes zu bestimmen; denn berechnet man aus der Schwere des Gewichtes Z, welcher Druck auf den Stöpsel in x' ausgeübt wird, so wird dieser Druck, multiplicirt mit dem Verhältnisse der Oberflächen von W und B den Druck auf B ergeben. Die beiden Cylinder G und I' müssen oben bei den Punkten f und a noch eine kleine Seitenöffnung haben, welche durch die Wandung läuft und mit Schrauben verschlossen werden kann, damit die Luft aus den Röhren und Cylindern entweichen kann, wenn sie mit Wasser sollen gefüllt werden.

Aus dem Vorausgeschickten wird man die Wirkung der Presse hinlänglich begriffen haben; sie ist sehr mächtig und gewährt auf eine in jeder Hinsicht einfache Weise und in einem kleinen Raum einen

Effect, wie man ihn durch eine Verbindung einfa-cher Werkzeuge in derselben Zeit und mit einem nicht größern Druck der wirkenden Kraft auf keine Weise erlangen kann.

Die Wasserpresse verursacht jedoch durch ihre Wirkung eine Unannehmlichkeit, nämlich, daß der Widerstand mit dem Pressen oder Zusammendrücken stets wächst; denn um wieviel die Brücke C C gegen die zu pressenden Körper gedrückt wird, um eben soviel wird die Brücke mit dem Kolben B zurückgedrückt, welcher Druck beim Niederdrücken des Hebels Q R, wenn der Stöpsel U gehoben ist, auf den Kolben K K ausgeübt wird, und dieses ganz natürlich um so mehr, je mehr das Zusammenpressen zunimmt. Die wirkende Kraft hat alsdann einen sehr veränderlichen Widerstand zu überwinden, was eine wesentliche Unannehmlichkeit ist. Gewöhnlich hilft man sich dabei auf die Weise, daß man den Hebelarm R k verkürzt, sobald der Widerstand zunimmt, indem man nämlich den Nagel, um welchen Q S sich dreht, durch ein Loch k steckt, welches weniger vom Punkte R entfernt ist, als ein anderes; aber dieses Mittel kann nur zum kleinen Theil und auf eine kurze Zeit ausreichen, um die zunehmende Schwierigkeit im Pressen zu vermindern. Vielleicht gibt es unter andern vorgeschlagenen Mitteln solche, welche diesem Mangel besser abhelfen können; da es jedoch hier nicht eigentlicher Zweck ist, eine vollständige Abhandlung über die Einrichtung der Wasserpresse zu liefern, so kann auch eine Erörterung und eine Beurtheilung des Grades der Vollkommenheit dieser Mittel hier nicht stattfinden. Aus demselben Grunde können wir auch nicht über jeden Theil der Maschine besonders, z. B. über die Dimensionen derselben, über die Dicke der Röhren u. s. w. handeln, aber dieses ist auch weniger nothwendig, weil die dazu vorhande-

nen Grundsätze sich aus dem ergeben werden, was später über die Dimensionen und über die Dicke der Pumpenstiefel u. s. w. mitgetheilt werden soll.

Endlich muß über den Gebrauch der Wasserpresse noch bemerkt werden, daß es immer besser seyn wird, als Flüssigkeit in der Presse, statt des Wassers, Oel anzuwenden.

Es ist nicht nöthig, daß der Kolben B, durch welchen das Pressen bewerkstelligt wird, in einer vertikalen Richtung aufwärts bewegt werde. Diese Richtung ist allerdings für die Dauer der Maschine die zweckmäßigste, aber sie kann auch horizontal seyn, oder einen gewissen Winkel zum Horizonte bilden. Der Kolben kann auch niederwärts bewegt werden, und da man nun hinsichtlich der Richtung der Bewegung des Kolbens in keiner Hinsicht beschränkt ist, so kann der Gebrauch der Wasserpresse auch durch sehr wenige Umstände beschränkt werden. Die Anwendung, oder vielmehr der Gebrauch von Wasserpressen, um Waaren stark zusammenzupressen, oder zu packen, um die Leinkuchen in den Oelmühlen auszupressen, um in Papiermühlen und in Druckereien andere Arten von Pressen zu ersetzen, ist bereits sehr mannichfaltig. Und diese Anwendungen lassen sich noch immer vervielfältigen; denn wenigstens können die Wasserpressen immer mit Nutzen statt der gewöhnlichen Schraubenpressen angewendet werden. In Fabriken muß dieser Austausch wichtige Vortheile gewähren, indem man daselbst auch immer Gelegenheit hat, die Wasserpressen auf eine sehr einfache Weise durch die vorhandene bewegende Kraft in Wirkung zu setzen, was bei den gewöhnlichen Schraubenpressen mit vielen Schwierigkeiten, oder wenigstens mit viel Weitschweifigkeit verbunden seyn kann.

Die Wasserpresse kann auch angewendet werden, oder sie wird vielmehr auch angewendet, um schwere Lasten in Bewegung zu setzen, indem man nämlich mit dem großen Kolben eine Zahnstange oder eine Kette verbindet und die geradlinige Bewegung dieses damit verbundenen Theiles alsdann in eine kreisförmige oder in eine andere bestimmte Bewegung umwandelt. Sehr schwere Lasten können auf diese Weise äußerst regelmäßig fortbewegt werden.

Der Grundsatz, auf welchem die Einrichtung der Wasserpresse beruht, daß nämlich durch den Druck eines massiven Kolbens dieselbe, oder auch (die Schwierigkeiten der Construction u. s. w. in Anschlag gebracht) eine viel größere Wirkung erlangt werden kann, als durch den Druck einer Wassersäule, läßt sich auch mit Nutzen anwenden auf Brückenwaagen, welche durch den Druck des Wassers Lasten äquilibriren, um diesen Maschinen eine compendiösere Einrichtung zu geben. Auch kann derselbe Grundsatz benutzt werden, um durch horizontal laufende Röhren langsame, jedoch sehr kräftige abwechselnde Bewegungen auf sehr große Entfernungen mitzutheilen. Von diesem einfachen Mittel, welches in jeder Hinsicht ausreichend ist, haben wir in der II. Abth. des vorhergehenden Theiles bereits Meldung gethan.

§. III.

Effect des Druckes der Flüssigkeiten auf Körper, welche in dieselben eingetaucht sind.

10) Ein Körper P, welcher in eine Flüssigkeit a b Z Fig. 21 eingetaucht ist, wird von allen Seiten durch diese Flüssigkeit gedrückt; man kann alle diese Drucke auf zwei Hauptdrucke zurückführen,

nämlich auf zwei vertikale und auf zwei horizontale Drucke.

Die beiden horizontalen Drucke erfolgen parallel der Oberfläche a b der Flüssigkeit gegen die beiden Seiten des Körpers. Diese Drucke finden in entgegengesetzten Richtungen statt, sie vernichten einander und können dem Körper keine Seitenbewegung geben, denn, um wieviel ein Punkt p des Körpers in der Richtung von p nach q gedrückt wird, um eben soviel wird derselbe im Punkte q an der andern Seite in der entgegengesetzten Richtung von q nach p gedrückt, weil diese beiden Punkte in derselben waagerechten Linie p q liegen, und deshalb als von der Oberfläche a b gleichweit abstehend durch Flüssigkeitssäulen von gleicher Höhe (p f = q g) gleich sehr gedrückt werden. Da dieses nun für alle Punkte des Körpers auf dieselbe Weise der Fall ist, so müssen die totalen Seitendrucke an beiden Seiten gleich groß seyn, und zwar gleich den Drucken, welche gegen die Seitenflächen A C und B D eines Parallelepipedums stattfinden müssen, welches zur Höhe, Länge und Breite die größte Höhe oder Dicke, Länge und Breite des Körpers hat, der hier im Allgemeinen von unregelmäßiger Gestalt angenommen wird.

Die oberste Oberfläche des Körpers wird in einer vertikalen Richtung durch das Gewicht der ganzen Flüssigkeitssäule f p k d q g, die über ihr liegt, niedergedrückt. Die unterste Oberfläche wird durch den Druck der Flüssigkeit (von welchem Drucke bewiesen ist, daß er nach allen Richtungen stattfindet) in einer vertitalen Richtung von unten nach oben gedrückt; der Druck auf einen Punkt e ist proportional der Entfernung e c dieses Punktes, von der Oberfläche a b der Flüssigkeit, so daß dann der totale Druck gegen die untere Seite des Körpers gleich

ist dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule fpnreqg. Zieht man von diesem Drucke nach oben den Druck ab, welcher nach unten stattfindet und welcher dem Gewichte der Säule fpkdqg gleich ist, so muß ein Uebermaß des Druckes in der Richtung von unten nach oben stattfinden, welches gleich ist dem Drucke des Gewichtes einer Flüssigkeitsmasse pkdqernp, die deshalb einen gleichen Raum einnimmt, wie der Körper selbst. Der Kubikinhalt dieser Flüssigkeitsmasse ist deshalb genau gleich dem Kubikinhalte der festen oder zusammenhängenden Theile des eingetauchten Körpers; denn wo die Theile nicht fest sind, oder nicht vollkommen an einander schließen, da wird die Flüssigkeit ihre Zwischenräume füllen, und diese gehören also nicht zum körperlichen Volumen der Theile des Körpers.

Jeder Körper, welcher in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, wird deshalb von zwei Kräften oder Drucken afficirt, und zwar erstens von der Kraft der Schwere, und zweitens von dem Drucke der Flüssigkeit. Diese Kräfte oder Drucke wirken in zwei entgegengesetzten Richtungen, die Schwere niederwärts und der Druck der Flüssigkeit aufwärts, so daß diese letztere die Schwere des Körpers, d. h. sein ganzes Gewicht zum Theil tragen kann, oder umgekehrt im Stande ist, eine Verminderung im ganzen Gewichte des Körpers herbeizuführen. Man kann deshalb auf eine uneigentliche Weise sagen: ein Körper, welcher in eine Flüssigkeit getaucht ist, verliert soviel von seinem Gewicht, als das Gewicht einer Quantität Flüssigkeit beträgt, welche im Volumen enthalten seyn kann, das der untergetauchte Körper besitzt.

11) Aus diesem allgemeinen Satze lassen sich die nachfolgenden Wahrheiten ableiten, welche in der Praxis vom größten Gewichte sind, so wie man auch davon sehr viele nützliche Anwendungen gemacht hat.

a) Ein Körper, der schwerer wiegt, als eine solche Quantität einer gewissen Flüssigkeit, welche denselben körperlichen Raum einnimmt, als der Körper selbst, wird sinken, wenn man ihn in diese Flüssigkeit taucht, aber mit einer Abnahme des Gewichtes, so daß, wenn er, am Arm einer Waage hängend, vor dem Eintauchen a Pfunde wog, das Gewicht nach dem Eintauchen soviel geringer seyn wird, als das Gewicht von b Kubikpalmen der Flüssigkeit ausmacht, indem wir nämlich voraussetzen, daß der Kubikinhalt des Körpers b Kubikpalmen betrage (möge nun b eine ganze Zahl oder einen Bruch bezeichnen).

Hierdurch kann man nun die relative Schwere der Körper bestimmen. Man nennt nämlich relative oder specifische Schwere das Gewicht verschiedener Stoffe von derselben Extension, d. h. von demselben körperlichen Inhalt. Eine Tabelle dieser specifischen Schweren haben wir am Ende dieser Abtheilung als Anhang gegeben. Gesetzt nämlich, man wäge einen Körper im Wasser und außerhalb des Wassers, und derselbe habe erst ein Gewicht b, alsdann ein Gewicht a, so ist a — b das Gewicht einer Quantität Wasser von gleichem Volumen mit dem Körper. Folglich verhält sich die Schwere des Wassers zu derjenigen des Körpers, wie aus folgender Proportion hervorgeht:

$$a - b : a = 1 : \frac{a}{a - b}.$$

Nimmt man nun die Schwere des Wassers zur Ein-

heit an, so wird $\frac{a}{a - b}$ die specifische Schwere des fraglichen Körpers seyn, und weiß man z. B. daß ein Kubikpalm reines Wasser 1 niederländisches Pfund wiegt, so wird 1 Kubikpalm des Stoffes, aus welchem der Körper besteht $\frac{a}{a - b}$ niederländ. Pfunde wiegen.

Bei Bestimmung der specifischen Schwere der Körper durch wirkliches Wägen in Wasser sind indessen eine Menge Dinge zu berücksichtigen, ohne welche man keine genauen Resultate erlangen kann. Dieser Gegenstand gehört jedoch mehr dem Gebiete der Physik an und kann hier nicht weiter erörtert werden.

Ferner angenommen, der Körper werde noch in einer andern Flüssigkeit gewogen, und sein Gewicht vermindere sich in dieser Flüssigkeit bis auf $a - c$ Pfunde, so wird die specifische Schwere dieser Flüssigkeit sich zu derjenigen des Wassers verhalten, wie $a - c$ zu $a - b$, weil eine Quantität Wasser von demselben Volumen als der Körper, unserer Annahme nach, $a - b$ Pfunde wiegt. Nehmen wir nun die Schwere des Wassers zur Einheit an, so wird die specifische Schwere der zweiten Flüssigkeit $= \frac{a - c}{a - b}$ seyn. Indem man einen Körper wiegt, der in verschiedene Flüssigkeiten getaucht worden ist, kann man nun auch die relative Schwere von Flüssigkeiten bestimmen, aber diese Bestimmung kann auf eine einfachere Weise geschehen, wie sich sogleich ergeben soll.

b) Wenn die Schwere eines Körpers, welcher z. B. einen Kubikinhalt von m Zollen hat, gleich

ist der Schwere einer gleichen Quantität von m Kubikzollen einer gewissen Flüssigkeit, so ist es einleuchtend, daß, wenn dieser Körper in die genannte Flüssigkeit getaucht wird, dessen Schwere gleich seyn müsse der Quantität des Druckes der Flüssigkeit gegen den Körper in der vertikalen Richtung von unten nach oben; der eingetauchte Körper hat also kein Gewicht, oder vielmehr kein Uebergewicht; oder es wird keine Kraft erforderlich seyn, um diesen Körper, nachdem derselbe eingetaucht ist, zu tragen; er wird durch den Druck der Flüssigkeit getragen und sinkt nicht, sondern bleibt in Ruhe, wie tief man denselben auch in der oben erwähnten Flüssigkeit untertaucht. Dieses ist z. B. der Fall mit einigen Arten von Eichenholz, welche dieselbe specifische Schwere wie das Wasser haben können, und andere Holzarten besitzen in Bezug auf andere Flüssigkeiten dieselbe Eigenschaft. Man kann jedoch einen Körper, der schwerer ist als eine Flüssigkeit so einrichten, daß er bei einem gewissen Volumen kein größeres Gewicht besitzt, als eine Quantität Flüssigkeit von gleicher Extension wiegen muß, so daß der schwerere Körper eben so wenig sinkt, als ein Körper von gleicher specifischer Schwere mit der Flüssigkeit. Man muß in diesem Falle das Volumen des Körpers nur vermehren, ohne daß dessen Gewicht dadurch vergrößert wird. So wird z. B. eine hohle Kugel von Gußeisen, die einen Durchmesser von beinahe 3 Palmen im Dunkeln, und im Lichten von 2 Palmen $8\frac{4}{9}$ Zoll hat, eben so viel wiegen, als eine Quantität Wasser, welche die eingetauchte Kugel verdrängt. Im Wasser kann alsdann eine solche hohle Kugel nicht sinken.

c) Wenn endlich ein Körper von gewissem Volumen weniger wiegt, als eine solche Quantität einer gewissen Flüssigkeit, die mit dem Körper ein

gleiches Volumen einnimmt, so wird der Körper, wenn er in die Flüssigkeit eingetaucht worden, mit einer größern Kraft von der Flüssigkeit nach aufwärts gedrückt, als diejenige ist, mit welcher er, vermöge der natürlichen Schwere, niederzusinken strebt. Ein Körper, der specifisch leichter ist, als das Wasser, kann dann nicht unter dem Wasser bleiben; er wird auf die Oberfläche des Wassers gelangen und schwimmen, während er nur mit einem solchen Theile seines Volumens unter die Oberfläche getaucht bleiben wird, daß sein ganzes Gewicht eben soviel beträgt, als das Gewicht einer Quantität Wasser, welches denselben Raum einnimmt, als der untergetauchte Theil.

Befindet sich deshalb das Wasser in einem viereckigen oder ganz runden Gefäß, so kann man genau wahrnehmen, wieviel Wasser durch einen auf der Oberfläche schwimmenden Körper verdrängt wird, und das Gewicht dieser Quantität Wasser wird dem Gewichte des leichtern Körpers gleich seyn. Auf diese Weise kann man nun die specifische Schwere von Körpern bestimmen, welche leichter als Wasser sind; jedoch findet man dieselbe auch, wenn man den Körper mit einem andern verbindet, der eine größere specifische Schwere besitzt. Denn gesetzt, der schwerere Körper wiege vor und nach dem Eintauchen a und b Unzen, und die verbundenen Körper wiegen $a + c$ und d Unzen, so wiegt der leichtere Körper vor dem Eintauchen c Unzen, und eine Quantität Wasser an Volumen gleich demjenigen der verbundenen Körper wird deshalb wiegen $a + c - d$ Unzen; aber eine Quantität Wasser von demselben Volumen, als der schwerere Körper wiegt $a - b$ Unzen, deshalb wird eine Quantität Wasser, die durch den leichtern Körper verdrängt wird, wenn derselbe ganz unter das Wasser getaucht wird, wie-

gen $a + c - d - (a - b) = a + c - d - a + b = b + c - d$ Unzen; deshalb wird die Schwere des Wassers sich zur Schwere des leichtern Körpers folgendermaßen verhalten:

$$b + c - d : c = 1 : \frac{c}{b + c - d}.$$

Ein Körper von einer regelmäßigen Gestalt, geringerer specifischer Schwere, als einige Flüssigkeiten, und ferner so geformt, daß er in einer Flüssigkeit senkrecht schwimmen kann (was z. B. der Fall ist, wenn er aus einem Cylinder besteht, der unten mit einer Kugel verbunden ist), wird in verschiedenen Flüssigkeiten mit einem größern oder kleinern Theile seines Volumens über der Oberfläche in Ruhe bleiben. Dieses ist abhängig von dem größern oder geringern Drucke, welchen die Flüssigkeit gegen den Körper ausüben kann, und da dieser Druck vollkommen proportional ist der relativen Schwere der Flüssigkeit, so kann man diesen Druck erfahren aus der Tiefe, bis zu welcher der oben genannte schwimmende Körper in die Flüssigkeit sinkt. Instrumente, welche nach diesem Grundsatze verfertigt sind, nennt man Flüssigkeitswaagen, oder auch wohl Flüssigkeitsmesser, weil sie zugleich benutzt werden können, um zu untersuchen, ob zwei oder mehrere Flüssigkeiten derselben Art auch dieselbe Qualität und relative Schwere besitzen, denn dann muß das Instrument in diesen Flüssigkeiten bis zu derselben Höhe steigen und schwimmen, oder bis zu derselben Tiefe sinken.

Ein Körper, welcher specifisch schwerer ist, als eine Flüssigkeit, kann auch auf der Oberfläche einer Flüssigkeit schwimmen, wenn man, ohne das absolute Gewicht zu verändern, das Volumen in einem erforderlichen Verhältnisse vermehrt. Auf diese Weise

schwimmt ein blecherner Wassereimer, eine hohle eiserne Kugel, eine hohle Röhre aus Glas, Kupfer rc. Dieser Satz ist bei dem Bau der Schiffe und bei dem Belasten derselben von sehr viel Gewicht.

Endlich bemerke man noch, daß es ganz und gar von der Gestalt eines Körpers (der z. B. auf dem Wasser schwimmt) abhängt, welche Stellung er im Gleichgewichte annehmen soll, aber diese Stellung wird immer in sofern bestimmt seyn, daß dessen Schwerpunkt mit demjenigen des eingetauchten Theiles in seiner vertikalen Richtung liege. Denn durch die vorausgeschickten Grundsätze und durch das einfache Gesetz vom Gleichgewichte zweier Kräfte, die in einer entgegengesetzten Richtung wirken (die Schwere des Körpers und der Druck der Flüssigkeit), kann man leicht begreifen, daß der Körper immer schwanken, oder wanken muß, wenn die oben genannte Bedingung nicht erfüllt ist.

Zweites Kapitel.

Mechanische Eigenschaften der elastischen Flüssigkeiten, besonders derer, welche eine stete Elasticität besitzen, wie z. B. die atmosphärische Luft; Gesetze des Druckes und des Gleichgewichtes derselben.

---

§. I.

Ueber die Art der elastischen Flüssigkeiten; mechanische Eigenschaften derselben; Art und Weise, wie sie Druck ausüben.

12) Das Charakteristische oder das Eigenthümliche der beständig elastischen Flüssigkeiten besteht darin, daß sie zusammengedrückt werden können, oder

daß dieselbe Masse Flüssigkeit auf ein kleineres Volumen gebracht werden kann, und daß diese Flüssigkeiten sich umgekehrt ausdehnen, ein größeres Volumen annehmen, wenn ihre Theile durch keine Kraft, oder durch eine schwächere Kraft, als zur Zeit, wo sie ein kleineres Volumen einnahmen, gedrückt oder zusammengehalten werden. Dieses verhält sich deshalb ganz so, wie mit einer Feder oder einem elastischen Körper, und deshalb besitzen dergleichen Flüssigkeiten den eigenthümlichen Namen elastischer Flüssigkeiten. In dieser Hinsicht besteht nun eine große Differenz zwischen der Beschaffenheit dieser Flüssigkeiten und derjenigen der tropfbaren Flüssigkeiten; denn letztere sind, verglichen mit ersteren, incompressibel *).

Unter die elastischen Flüssigkeiten, welche die Ursache der kräftigsten und nützlichsten Effecte sind, gehört besonders die Flüssigkeit, welche die ganze Erdkugel, auf der wir uns befinden, rings umgibt. Sie wird Luft genannt, und zwar atmosphärische Luft, Dunstkreisluft, zur Unterscheidung anderer elastischer Flüssigkeiten, die man wohl auch im Allgemeinen Luft oder Gasarten (dünne, feine elastische Flüssigkeiten) zu nennen pflegt. So hat man durch die Hilfsmittel der Chemie entdeckt, daß unsere atmosphärische Luft selbst in drei andere hauptsächliche, elastische Flüssigkeiten zerlegt werden könne, nämlich in Sauerstoffgas, ohne welches wir nicht

*) Verglichen mit ersteren. Das Wasser z. B. und so auch noch andere Flüssigkeiten kann, wenn es durch eine sehr große Kraft gedrückt wird, wohl auf ein kleineres Volumen gebracht werden, aber die Quantität dieser Compression ist sehr gering und nicht der Erwähnung werth, im Vergleiche mit der Quantität, auf welche eine elastische Flüssigkeit durch eine gleiche Kraft zusammengedrückt werden kann.

leben können, in Stickstoffgas, in welchem allein wir nicht athmen könnten, und in Kohlensäuregas, welches man auch fixe Luft zu nennen pflegt. Alle elastischen Flüssigkeiten haben dieselben Eigenschaften mit einander gemein, da aber in diesem Kapitel über einige Wirkungen gehandelt werden soll, welche bestimmter von der Gegenwart und der Wirkung der atmosphärischen Luft herrühren, so soll diese elastische Flüssigkeit meistentheils ausschließlich und größerer Deutlichkeit der Begriffe halber genannt werden, obschon alles auf elastische Flüssigkeiten anderer Art ebenfalls angewendet werden kann.

13) Die elastischen Flüssigkeiten drücken wegen ihrer Schwere und wegen ihrer Elasticität in jeder Richtung, z. B. von oben nach unten, seitwärts und von unten nach oben. Vermöge ihrer Elasticität streben sie, sich stets auszudehnen, oder ein größeres Volumen einzunehmen, und in dieser Hinsicht sind sie von den tropfbaren Flüssigkeiten gar sehr verschieden. Um dieses besser zu erläutern, denke man sich ein Gefäß, welches von allen Seiten geschlossen und ganz luftleer ist. Eine gewisse Quantität Luft, z. B. 1 Kubikpalm nimmt im Dunstkreise keinen größern Raum ein, weil sie von allen Seiten durch die angrenzenden Lufttheile gedrückt und stets gehindert wird, sich auszudehnen; aber wenn diese Quantität in das oben genannte luftleere Gefäß gebracht würde, so würde sie sich sogleich ausdehnen und den ganzen Raum des Gefäßes einnehmen. Eine Kubikpalm Wasser wird dagegen nur 1 Kubikpalm Raum in dem genannten Gefäß einnehmen, und das Wasser wird eine horizontale Oberfläche haben.

Wenn das Gefäß von oben nicht bedeckt wäre, und seine Wandungen sich unbestimmt nach oben

ausdehnten, so würde auch die elastische Flüssigkeit, oder vielmehr die Luft sich soweit wie möglich nach oben ausdehnen, und da, wo die Ausdehnung nicht weiter gehen könnte, würde die Oberfläche der Flüssigkeit horizontal oder waagerecht seyn.

Die Grenze dieser Ausdehnung wird natürlich da stattfinden, wo die Kraft der Elasticität, durch welche die Lufttheilchen von einander entfernt gehalten werden, vollkommen gleich ist der Schwere dieser Lufttheile; denn soviel sie dann z. B. durch die genannte Elasticität nach oben gedrückt werden, eben soviel Druck werden sie durch ihr Gewicht nach unten ausüben, und es wird dann durch diese beiden gleichen Drucke Gleichgewicht eintreten, so daß alsdann keine Ausdehnung mehr stattfinden kann. Das eben Gesagte, welches z. B. auf unserm Dunstkreis anwendbar ist, der sich nur bis zu einer bestimmten Grenze über die Oberfläche der Erde erstrecken kann, soll bald deutlicher eingesehen werden.

Daß die Luft und so auch jede andere elastische Flüssigkeit, wie dünn und fein dieselben auch sein mögen, Schwere besitzen, bedarf wohl keines Beweises; denn aller Stoff hat Schwere; die Erscheinungen, welche als eine Folge der Schwere und des Druckes der Luft erklärt werden sollen, beweisen dieses unwidersprechlich; auch ist es natürlich, daß, wenn man z. B. eine hohle, mit Luft gefüllte Kugel wägt, und diese Wägung wiederholt, nachdem man die Luft soviel wie möglich aus derselben gepumpt hat, eine gewisse Verschiedenheit in der Schwere gefunden werden müsse. Aber diese Schwere ist gering, denn eine Kubikelle atmosphärische Luft, geschöpft an der Oberfläche der Erde, wiegt im Durchschnitt 1,299 Pfund; da nun eine Kubikelle Wasser im Durchschnitt 1000 Pfund wiegt, so hat

die Luft eine Schwere von $\frac{1,299}{1000}$ = beinahe $\frac{1}{770}$ der Schwere des Wassers.

Unter den Gasarten besitzt das Wasserstoffgas die geringste Schwere, indem eine Kubikelle dieses Gases nur 0,0915 Pfund wiegt, so daß die atmosphärische Luft 14,2 Mal, und das Wasser 9940 Mal schwerer ist, als das Wasserstoffgas. Die specifische Schwere der Gasarten findet man in der Tabelle des Anhanges.

14) Durch die Schwere der Lufttheile kann nun eine Luftmasse A B D C Fig. 22, welche sich unbestimmt in die Höhe erstreckt, in jeder Höhe a, b u. s. w. gedrückt werden, und der Seitendruck gegen einen Punkt a oder b einer festen Wand, oder auch wohl der Seitendruck, den die Lufttheile gegenseitig auf einander ausüben, ist vollkommen gleich dem Gewichte der darüber lagernden Luftmasse von a oder von b bis zur Oberfläche A B. Deshalb nimmt der Druck stets in größern Höhen ab. Da aber die Luft eine elastische Flüssigkeit ist, so kann sie comprimirt werden, und jede Luftschicht, wird deshalb zusammengedrückt durch das volle Gewicht aller darüber gelegenen Luftschichten zusammengenommen. Die Quantität dieser Compression nimmt offenbar mit dem drückenden Gewichte zu, und von zwei gleichen Quantitäten Luft in den Höhen b c und a d wird also die unterste b c einen kleinern Raum einnehmen, als die oberste a d. Diese unterste Luftschicht muß deshalb eine größere Dichtheit besitzen, als eine andere höher liegende Schicht, und weil die Theile dieser ersten Luftschicht durch einen größern Druck afficirt werden, so müssen sie auch mit einer größern Elasticität reagiren, eben so wie dieses bei einer zusammengedrückten Feder

der Fall ist, so daß die Federkraft oder die Elasticität zugleich mit der Compression zunimmt; aber mit der Compression nimmt auch die Dichtheit (d. h. die größere Anhäufung der Zahl der Lufttheile in einem kleinern Raume) zu, weshalb die Elasticität zugleich mit der Dichtheit zunimmt.

Was hier von einer Luftsäule gesagt ist, die sich unbestimmt in die Höhe erstreckt, kann auch vollkommen auf die Luft des Dunstkreises angewendet werden, und aus dieser Uebereinstimmung muß dann folgen:

a) daß die atmosphärische Luft in größern Höhen über der Oberfläche der Erde stets weniger drückt.

b) daß sie in größern Höhen weniger wiegt, oder nicht so dicht ist, indem sie dort durch ein geringeres Gewicht comprimirt wird, als dieses bei den Luftschichten der Fall ist, die sich in der untern Luft befinden. Wägt man deshalb eine Kubikelle atmosphärische Luft an der Meeresoberfläche, so kann dieses Gewicht viel größer seyn, als dasjenige einer Kubikelle atmospärischer Luft, auf dem Gipfel eines hohen Berges gewogen.

c) Da die Dichtheit der atmosphärischen Luft stets geringer wird, je nachdem sie einer höher liegenden Luftschicht angehört, so muß auch ihre Elasticität in gleichem Maße abnehmen. Je höher deshalb die Luftschichten sind, desto feiner oder dünner müssen sie seyn, weil sie alsdann beständig durch ein kleineres Gewicht der obersten Luftschichten gedrückt werden. Mit dieser geringern Compression nimmt auch die Spannung der Luft ab (welche folglich an der Oberfläche der Erde am größten ist) und diese Elasticität kann dann natürlich mit der Dichtheit der Luftschichten so sehr abnehmen, daß dieselbe nicht mehr als die natürliche Schwere der

Lufttheile tragen kann, und wo dieses Gleichgewicht besteht, da muß die Grenze des Dunstkreises, oder der Atmosphäre seyn.

Etwa in der Höhe von 60000 niederländischen Ellen wird die Dichtheit der Luftschichten des Dunstkreises noch einigermaßen merklich seyn. Ferner glaube man nicht, daß die Abnahmen an Dichtheit, Gewicht und Elasticität in gleichem Maß erfolgen, in welchem die Höhen zunehmen, denn zwischen den Dichtheiten u. s. w. besteht hinsichtlich der aufeinander folgenden Höhen der Luftschichten ein ganz anderes Verhältniß.

Obschon die Wände einer Röhre, Fig. 22, welche sich unbestimmt in die Höhe erstreckt, in verschiedenen Entfernungen vom Boden einen stärkern oder geringern Druck erfahren, welcher von der Compression der Lufttheile durch das Gewicht der darüber liegenden Schichten an dem betreffenden Punkte herrührt, so kann man jedoch keine Differenz des Druckes wahrnehmen, wenn die genannten Wände sich nicht weit erstrecken. Man kann sich in der That leicht überreden, daß der Druck der Luft in einer Höhe von 10 Ellen z. B. über dem Boden beinahe nicht verschieden seyn könne von dem Druck der Atmosphäre auf die Oberfläche der Erde selbst; denn wäre der letzte Druck merklich größer als der erste, so müßte dieses herrühren aus dem Gewichte der Luftschicht von 10 Ellen Höhe; nun wiegt 1 Kubikelle Luft, welche zu dieser Schicht gehört, im Durchschnitt 1,3, deshalb wiegt eine Luftsäule, welche eine Basis von 1 Quadratzoll und eine Höhe von 1000 Zollen hat, nur 0,0013 Pfunde, oder 13 Gran, welches Gewicht zu unbedeutend ist, um auf 1 Elle Höhe einen merklich größern Druck ausüben zu können, als auf 10 Ellen Höhe.

Man kann alsdann annehmen, daß Luftschichten von einer geringen Höhe auf jedem Punkte dieser Höhe denselben Druck gegen oder auf einen Körper ausüben, so daß z. B. ein Würfel gegen jede seiner Seitenflächen eben so stark gedrückt wird, als gegen die Basis, und auf die obere Fläche, was nicht so seyn würde, wenn der Würfel ins Wasser getaucht wäre; denn die Basis würde dann den größten Druck erfahren und auf die Seitenflächen würde der Druck von der Oberfläche bis zur Basis immer größer werden.

Der Druck und die Elasticität der Luft sind verschieden in den Luftschichten, welche sich in verschiedenen Entfernungen von der Oberfläche der Erde befinden, und das Maß dieses Druckes, so wie auch die Elasticität hängt allein ab von dem Gewicht aller höher gelegenen Luftsäulen zusammen genommen. Aber wenn man eine Quantität Luft aus einer gewissen Lage der umgebenden Lufttheile ganz und gar absperrt, ohne deren Volumen zu verändern, so wird diese abgesperrte Luft, obschon sie nicht mehr mit den angrenzenden Lufttheilen in Berührung steht, nicht mehr gedrückt von den darüber liegenden Luftschichten, aber dennoch dieselbe Dichtheit und Elasticität besitzen, auch denselben Druck fortwährend ausüben, als zu der Zeit, wo sie sich unmittelbar in der Luftschicht befand, aus welcher sie genommen worden ist.

Um dieses verständlich zu machen und den Leser davon vollkommen zu überzeugen, so sey A B E F C D Fig. 23 eine Röhre mit zwei vertikalen Schenkeln, bei a b und c d ganz offen und bis an A B C D mit einer Flüssigkeit, z. B. mit Wasser gefüllt. Auf diese Weise wird die Luft, welche mit den beiden Oberflächen A B und C D in Berührung ist, mit ihrem vollen Gewicht auf diese Oberflächen drücken,

und auf beiden wird natürlich der Druck gleich seyn, so daß A B und C D zu derselben waagerechten Ebene A B C D gehören. Man verschließe nun die Röhre C D c d mit einem Stöpsel, oder auf eine andere Weise vollkommen luftdicht, so ist die kleine Luftmasse c d C D von der Luft, mit welcher sie zuvor in Berührung stand, ganz abgeschieden, aber sie hat noch dieselbe Dichtheit, wie zuvor, d. h. gleiche Dichtheit mit der äußern Luft, die zur Luftschicht a b c d D C B A gehört, von welcher Schicht man auch annehmen kann, daß sie in allen ihren Punkten dieselbe Dichtheit besitzt. Sie besitzt auch noch dieselbe Elasticität, wie zuvor, denn sie ist weder feiner noch dichter geworden, indem der Raum c d C D nach der Verschließung dieselbe Quantität Lufttheile enthält, als vor der Verschließung, während die Elasticität von der Dichtheit oder dem Grade der Compression ganz und gar abhängt. Wenn nun auch die Elasticität nicht verändert ist, so befindet sich die abgeschiedene Luft vollkommen in demselben Zustande, als zur Zeit, wo sie mit den Theilen der vorgedachten Luftschicht an allen Seiten in Berührung stand; folglich muß sie auch in jeder Richtung, und also auch auf die Oberfläche des Wassers C D denselben Druck ausüben, wie die Luftsäule A B b a e, welche nicht abgesperrt ist. Die Erfahrung bestätigt dieses, denn nach der Verschließung der Röhre c F wird die Wassersäule C F weder steigen noch fallen, sondern in gleicher Höhe mit B E in Ruhe bleiben, was sicherlich nicht der Fall seyn könnte, wenn die Oberfläche C D durch die bestimmte Luftmasse C D d c weniger oder mehr gedrückt würde, als die Oberfläche A B von der Luftsäule A B b a e, welche sich unbestimmt nach oben erstreckt.

§. 11.

Ueber das Maß des Druckes der Luft; über die Gesetze der Compression und Ausdehnung der elastischen Flüssigkeiten; Erklärung einiger Wirkungen, die vom Druck der Luft herrühren.

15) Wenn eine Röhre C D Fig. 24, welche oben bei D geschlossen ist, mit dem offenen Ende C unter die Oberfläche einer Flüssigkeit getaucht wird, welche sich in einem Gefäß oder Behälter A B befindet, und wenn diese Röhre keine Luft enthält, sondern ganz luftleer ist, so muß die Flüssigkeit natürlich in dieser Röhre bis zu einer gewissen Höhe emporsteigen. Denn die Luft, welche mit der Oberfläche A c, d B rings um die Röhre in Berührung steht, ruht gleichsam auf dieser Oberfläche und übt auf dieselbe ihren vollen Druck aus. Da dieser Druck auf jeden Punkt derselbe ist, so kann die genannte Oberfläche auf keinem Punkte erhabener seyn, als auf irgend einem andern, der auf dieselbe Weise gedrückt wird; aber der Theil c d der Oberfläche der Flüssigkeit steht mit keiner Luft in Berührung, weil die Röhre bei D geschlossen und übrigens luftleer ist; deshalb wird auch c d nicht gedrückt und die Flüssigkeit wird dann durch den Druck der äußern Luft niedergedrückt werden, und in der Röhre C D bis zur Höhe a b emporsteigen, wo das Gewicht der Wassersäule a b c d gleich ist, oder eben so viel Druck auf die Oberfläche c d ausübt, als die äußere Luft auf eine eben so große Oberfläche.

Diese Wirkung ist offenbar derjenigen einer Kraft gleich, welche auf die Oberfläche i k Fig. 25 einer Flüssigkeit (die in zwei communicirenden Röhren M und N enthalten ist) drückt, während die

Oberfläche g h der Flüssigkeit in der Röhre M nicht gedrückt wird; denn dann wird die Flüssigkeit in dieser Röhre bis zu einer gewissen Höhe m emporgetrieben werden, bis endlich das Gleichgewicht hergestellt ist, welches (dem zufolge was im vorhergehenden Kapitel abgehandelt worden ist) dann eintreten wird, wenn der Druck der Säule m g auf die Fläche g h gleich ist dem Drucke der hier erwähnten Kraft auf einen gleichen Theil g h der Oberfläche i k der Flüssigkeit in der Röhre N.

Die Höhe der Säule a b c d Fig. 24 muß für jede Flüssigkeit von besonderer Schwere verschieden seyn; aber wenn diese Höhe für eine Flüssigkeit bestimmt ist, so läßt sich dieselbe für andere Flüssigkeiten berechnen, wenn man nämlich die specifische Schwere dieser Flüssigkeiten und der erst genannten kennt. Die Erfahrung lehrt nun, daß, wenn das Gefäß A B mit Quecksilber gefüllt ist und die Röhre C D (vorausgesetzt, daß sie nicht sehr enge sey) keine Luft enthält, das Quecksilber in der Röhre um 76 niederländische Zolle über die Oberfläche A B oder c d im Durchschnitte steigen müsse. Um in diesem Betreff einen Versuch zu machen, fülle man eine Röhre, die länger als 76 Zoll ist (z. B. eine Länge von 86 Zoll besitzt) ganz und gar mit Quecksilber, so daß man sie jedesmal, wenn eine Quantität Quecksilber eingetragen ist, auf- und niederschüttelt, damit die Luftbläschen, welche sich zwischen den Quecksilberkügelchen befinden, ausgetrieben werden; man halte dann den Finger auf das offene Ende C, kehre die Röhre um und tauche so das Ende C unter die Oberfläche A B des Quecksilbers in dem Gefäße A C B, wo man dann finden wird, daß das Quecksilber, nachdem man den Finger vom Ende C entfernt hat, in der Röhre steigen wird, bis a c eine Höhe von etwa 76 niederländischen

Zollen erreicht hat. Der Raum a b D über der Oberfläche der Quecksilbersäule enthält dann keine Luft, und wenn die Röhre von D bis c weniger lang war, als 76 Zolle, z. B. 70 Zoll, so wird das Quecksilber sich ganz bis zum obern Ende D erstrecken; die Röhre wird ganz mit Quecksilber gefüllt seyn, die innere Wand des geschlossenen Endes D wird dann von unten nach oben einen Druck erfahren, welcher demjenigen gleich ist, den das Gewicht einer Quecksilbersäule von 6 Zoll Höhe und einer Basis = der Oberfläche der genannten innern Wandung ausübt. Das Quecksilber wird immer in dieser Höhe stehen bleiben, wie auch die Weite der Röhre seyn möge, sobald nur letztere nicht so eng ist, z. B. nicht weniger als 1½ Zoll weit ist, weil alsdann eine besondere Ursache eintritt (über welche hier nicht gehandelt werden kann und braucht), durch welche diese Höhe vermindert wird. Auch wird hier vorausgesetzt, daß der oberste Theil D a b der Röhre keine Luft enthalte, und daß der Versuch angestellt werde am Meeresspiegel, den man im Durchschnitt für die mittlere Oberfläche der Erdkugel annimmt; denn befände man sich auf einem hohen Berge, so würde die Quecksilbersäule, weil sie nicht durch das volle Gewicht des Dunstkreises getragen wird, auch nicht die Höhe von 76 Zollen haben können.

Das Quecksilber ist im Durchschnitt 13,593 Mal schwerer als das reine Flußwasser; deshalb müßte eine Wassersäule, um den Druck des Dunstkreises äquilibriren zu können, eine Höhe haben von 10,331 Ellen im Durchschnitt, was 13,593 Mal höher wäre als die Höhe von 0,76 Ellen der Quecksilbersäule; und so kann man diese Höhe auch für andere Flüssigkeiten bestimmen.

Es ist nun auch leicht, das richtige Maß des Druckes der Atmosphäre auf eine Oberfläche, z. B. auf einen Quadratzoll zu berechnen; denn an der Oberfläche der Erde drückt die Luft auf einen Quadratzoll mit einem Gewichte, welches gleich ist dem Gewicht einer Wassersäule, die zur Basis hat 1 Quadratzoll, oder 0,01 Quadratpalmen, und zur Höhe 103,31 Palmen; weshalb diese Wassersäule einen Kubikinhalt haben muß von 103,31 × 0,01 = 1,0331 Kubikpalmen, welche Quantität auch 1,0331 niederländische Pfunde wiegt.

Mit diesem Gewicht drückt deshalb die atmosphärische Luft auf oder gegen jeden Quadratzoll Oberfläche eines Körpers, und aus dieser Bestimmung kann man alsdann den totalen Druck auf eine größere oder kleinere Oberfläche berechnen. Wenn z. B. die Röhre CD Fig. 24 von cd bis D eine Länge besitzt von 80 Zollen und ihr Umfang 6 Zoll beträgt, so wird ihre Oberfläche 480 Zoll betragen, und sie wird deshalb einen totalen Druck von beinahe 500 niederländischen Pfunden erfahren. Ist sie nun bei abD luftleer, so muß sie natürlich eine Dicke haben, welche diesem Druck proportional ist; aber wenn die Röhre auch bei D offen wäre, und deshalb Luft enthielte, so würden ihre Wände sowohl von innen, als von außen gleich sehr gedrückt werden, und die Dicke der Röhre brauchte dann nicht bestimmt zu werden.

Eine mit Quecksilber gefüllte Röhre in eine andere Quantität Quecksilber getaucht, oder mit einer andern Quantität Quecksilber ABC Fig. 26 communicirend, kann die Quantität des atmosphärischen Druckes in jeder Höhe über der Oberfläche der Erde und zu jeder Zeit anzeigen. Mit einem solchen Instrument mißt man deshalb das Gewicht oder die Schwere der Luft; es führt den Namen

Barometer (Schweremesser). Da es viele Ursachen gibt, welche Veränderungen in der Beschaffenheit des Dunstkreises, und so auch in der Witterung zur Folge haben, und da mit diesen Veränderungen auch immer einigermaßen eine Vermehrung oder Verminderung im Drucke der Luft verbunden ist, so wird das Barometer (welches dann auf eine allgemeine Weise benutzt werden kann, um die Veränderungen in der Beschaffenheit der Luft wahrnehmen und zum voraus vermuthen zu können) nicht zu allen Zeiten gleich hoch stehen können; die Veränderungen desselben liegen so ziemlich innerhalb der Grenzen von 73 und 78 Zollen, aber im Durchschnitte kann man die **Barometerhöhe** zu 76 Zoll annehmen. Diese Höhe muß jedoch in größern Entfernungen von der Oberfläche der Erde abnehmen; kennt man nun die Regel, nach welcher der Druck der Luft, mit dem Barometer gemessen, abnimmt mit der Zunahme der Beobachtungshöhen, so kann man umgekehrt, auch aus den verschiedenen Höhen des Barometers einen Schluß machen auf die Verschiedenheit der Höhen über der Erdoberfläche, in welchen die Beobachtungen der Barometerstände vorgenommen worden sind. Das Barometer kann deshalb benutzt werden, um die Höhe von Bergen oder hochgelegener Orte über dem Meeresspiegel zu bestimmen, und dieses ist ein zweiter höchst wichtiger Gebrauch, den man von diesem einfachen Instrument zu machen verstanden hat. Das Barometer kann auf verschiedene Weise eingerichtet werden, doch liegt die weitere Ausführung dieses Gegenstandes außerhalb der Grenzen dieses Lehrbuches, und wir begnügen uns blos, die Grundsätze angegeben zu haben, auf denen der Gebrauch desselben beruht.

16) Eine Menge Erscheinungen und Wirkungen, die man täglich wahrnehmen kann, werden durch den Druck der Luft hervorgebracht. Das Aufsaugen einer Flüssigkeit durch eine Röhre geschieht blos in Folge des Luftdruckes auf die Oberfläche der Flüssigkeit. Das Saugen ist hier das Luftleermachen, und das Luftleerhalten der Röhre, in welcher die Flüssigkeit emporsteigt.

Wenn eine Röhre, die länger als 10,4 Ellen ist, oben mit einem Stöpsel und unten mit einem engen Hahn verschlossen wird, nachdem sie ganz mit Wasser gefüllt worden, so daß keine Luft in derselben enthalten ist, so wird beim Oeffnen des Hahns das Wasser ausfließen, nachdem es aber bis auf 10,4 Ellen gefallen ist, wird das Ausströmen mit einemmal aufhören, weil dann ein Gleichgewicht eingetreten ist zwischen der Luft, welche unten auf die Oeffnung des Hahnes drückt, und der Schwere der Wassersäule. (Wenn die Oeffnung des Hahnes weit wäre, so könnte sich die Luft zwischen die Wassertheilchen, mit denen sie in Berührung ist, begeben, und von da durch das Wasser bis zur Oberfläche desselben emporsteigen, wodurch das eben erwähnte Gleichgewicht gestört werden würde; deshalb setzen wir eine enge Oeffnung des Hahnes voraus.) Jede Flüssigkeit, die eine Röhre oder ein Gefäß füllt, so daß die Oberfläche derselben von keiner Luft gedrückt wird, kann deshalb nicht durch eine kleine Oeffnung im Boden oder unten in der Seitenwand des Gefäßes ausströmen, so lange das Gewicht einer Säule dieser Flüssigkeit, so hoch dieselbe auch über der gedachten Oeffnung stehen mag, nicht den Druck der Luft an dieser Oeffnung übertrifft. Aber das Ausströmen wird sogleich beginnen, wenn in die obere Wandung der Röhre oder des Gefäßes eine Oeffnung gemacht wird, durch welche

die Luft zur Oberfläche der Flüssigkeit Zutritt erlangt, denn alsdann wird die Flüssigkeit auf ihrer Oberfläche eben so sehr gedrückt, als an der Oeffnung, wo sie ausströmt, und sie kann durch die Schwerkraft ausfließen. Jedermann ist mit dieser Erscheinung, welche bei dem Gebrauch von Schenkkannen u. s. w., bei dem Abziehen von Flüssigkeiten aus Tonnen oder Fässern, bei manchen Lampen u. s. w. stattfindet, vollkommen bekannt.

Die Wirkung der Heber wird durch die vereinigte Wirkung des Luftdruckes und des Druckes einer Flüssigkeit hervorgebracht. Es sey a b c Fig. 27 eine gebogene Röhre, deren Schenkel a b kürzer ist, als der andere Schenkel b c, so nennt man eine solche Röhre gewöhnlich einen Heber. Man setze den kurzen Schenkel in eine Flüssigkeit, die aus einem Gefäß A B (das in der Stellung bleiben muß, in welcher es sich befindet) mit dem Heber abgezogen werden soll; wenn man nun, indem man den Heber erst mit der Flüssigkeit füllt, oder die Luft aussaugt, den Heber luftleer macht, so wird die Flüssigkeit sogleich aus dem längern Schenkel b c ausfließen. Denn wenn die Entfernung des Heberknies b von der Oberfläche A B der Flüssigkeit, oder auch wohl von dem Ende d des kürzern Schenkels nur geringer ist, als die Höhe einer Säule der erwähnten Flüssigkeit, welche den Luftdruck äquilibrirt, so muß die Flüssigkeit natürlich in der Röhre a b bis b steigen und in den andern Schenkel b c fließen.

Um den Gegenstand noch deutlicher zu machen, nehme man an, daß der Schenkel b c sich ebenfalls bis unter die Oberfläche einer gewissen Quantität Flüssigkeit E F erstrecke; diese beiden Oberflächen werden durch die Luft auf gleiche Weise gedrückt, aber die Flüssigkeitssäulen a b und b c werden un-

gleich gedrückt: das Uebermaß des Druckes der Luft auf die Säule a b ist gleich dem totalen Druck der Luft minus dem Gegendruck, welcher durch das Gewicht der Säule a b erzeugt wird; das Uebermaß des Luftdruckes auf die Säule b c ist auch gleich dem ganzen Luftdruck minus dem Druck des Gewichtes der Flüssigkeitssäule b c. Nennt man deshalb den Druck der Luft P, so wird der größere Druck auf a b seyn = P — a b, und auf b c = P — b c. Da das erste Uebermaß größer ist, als das zweite, so wird die Differenz des Druckes = P — a b — (P — b c) = P — a b — P + b c = P — P + b c — a b = b c — a b seyn, d. h. wenn man die horizontale Linie a B C zieht, = C c.

Hieraus folgt deshalb, daß die Luft mit einer größern Kraft auf die Flüssigkeit drückt, die im Schenkel a b enthalten ist, als auf die Flüssigkeit im Schenkel b c, und daß dieser größere Druck demjenigen des Gewichtes des Ueberschusses C c der Wassersäule im langen Schenkel b c über das Gewicht der Flüssigkeit im kurzen Schenkel a b gleich ist; deshalb muß nun die Flüssigkeit a b stärker emporgedrückt werden, als die Flüssigkeit b c, und dieselbe wird alsdann aus dem längern Schenkel ausfließen müssen. Dieses Ausfließen wird um so leichter von Statten gehen, wenn der Schenkel b c länger ist, als der Schenkel a b, so daß auch das Ausfließen nicht stattfinden könnte, wenn beide Schenkel gleich lang wären, oder wenn die übergeführte Flüssigkeit bis zu gleicher Höhe C = B mit der Flüssigkeit A B gestiegen ist, die aus dem ersten Gefäß ausgehoben worden ist.

17) Das Gesetz, oder die Regel, nach welcher die Dichtheit und die Spannkraft der Luft, oder einer elastischen Flüssigkeit im Allgemeinen mit der

Kraft, welche die Luftmasse comprimirt, oder mit den Räumen, die von dieser Masse eingenommen werden, zu- oder abnehmen, ist sehr einfach; denn die Dichtheiten und Spannkräfte, oder Drucke sind geradezu den Kräften proportional, von welchen die Luftmasse comprimirt wird, oder umgekehrt proportional den Räumen, in denen sie enthalten ist, so daß auch die Kräfte, welche mit den verschiedenen Drucken einer Luftmasse, die nach und nach in verschiedene Räume eingeschlossen wird, das Gleichgewicht herstellen, diesen Räumen umgekehrt proportional sind.

Diese Sätze werden durch die Erfahrung unwidersprechlich bewiesen, aber es hält auch nicht schwer, die Wahrheit derselben schon aus der Beschaffenheit der Sache selbst zu begreifen; denn es sey z. B. A B C Fig. 28 eine Röhre, in welcher ein massiver Kolben A C gerade auf- und niederbewegt werden kann; wenn nun der Raum A B C mit Luft gefüllt ist und eine gewisse Kraft auf den Kolben drückt, so daß er z. B. bis a b niedergeht, so wird dieselbe Quantität Luft in einen kleinern Raum zusammengedrückt und nimmt deshalb an Dichtheit zu. Wird nun der Kolben von einem doppelten Gewicht gedrückt, so würde eine doppelte Kraft vorhanden seyn, die Dichtheit zu vermehren, und der Kolben wird deshalb noch weiter als a b niedergehen, so daß die Vermehrung der Dichtheit noch einmal so groß, als im ersten Falle u. s. w. wird. Je dichter eine Luftmasse ist, d. h. je näher die Theile einer solchen Masse an einander gedrängt werden, um desto kräftiger streben sie alsdann sich von einander zu entfernen, oder um so viel mehr nimmt die Elasticität der Luftmasse zu. Diese ela-

stische Kraft ist deshalb auch der Kraft proportional, von welcher die Luftmasse zusammengedrückt wird.

Daß die Dichtheiten umgekehrt den Räumen proportional sind, welche die Luftmasse einnimmt, leuchtet von selbst ein; denn die Dichtheit eines Körpers wird erkannt aus der Quantität Stoff, welcher in einem gewissen bestimmten Raum enthalten ist. Wird deshalb der Kolben Fig. 28 niedergedrückt bis $Ac = \frac{1}{2} AB$, so wird die Quantität Lufttheile ACB in die Hälfte des Raumes gebracht, den sie ursprünglich einnahm, und wird also noch einmal so dicht, als zuvor; wird der Kolben dagegen emporgezogen, so daß der Raum ACB verdoppelt wird, so wird dieselbe Quantität Luft einen doppelten Raum einnehmen, die Lufttheile werden eine doppelte Entfernung von einander bekommen und die Masse wird nur halb so dicht seyn als zuvor. Dasselbe wird eintreten, wenn der Raum $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. s. w. oder 3, 4 u. s. w. würde, und deshalb werden die Dichtheiten zu einander im umgekehrten Verhältnisse der Räume stehen, in welchen eine gewisse Masse Luft eingeschlossen ist. Die elastische Kraft der genannten Luftmasse und die Kraft, welche die erstere äquilibrirt, oder jene Kraft aushält, oder welche die Masse comprimirt und gespannt hält, müssen natürlich, wenn sie den Dichtheiten proportional sind, auch auf dieselbe Weise dem körperlichen Inhalte der Luftmasse umgekehrt proportional seyn.

Um ein Beispiel für die Anwendung dieser Verhältnisse zu geben, wollen wir annehmen, daß der Raum abD der Röhre DC Fig. 24 (in welcher eine Quecksilbersäule cdba von 76 Zoll Höhe steht, wenn der Raum abD luftleer ist) Luft enthält von gleicher Dichtheit mit der äussern Luft; wenn dann die Höhe aD 10 Zoll

beträgt, und die Röhre inwendig überall gleiche Weite hat, so fragt sich's, bis zu welcher Höhe das Quecksilber cdba steigen müsse?

Wenn das Quecksilber durch seine Schwere fällt, wird die Luft abD sich in einem größern Raume vertheilen und folglich an Elasticität, oder an Dichtheit abnehmen, während das Fallen des Quecksilbers natürlich soweit gehen wird, daß die Schwere der Quecksilbersäule plus dem Drucke der ausgedehnten Luft abD den Druck der Luft auf die Oberfläche AB des Quecksilbers im Gefäß ACB äquilibriren. Da der Durchschnitt der Röhre sich überall gleich ist, so braucht dieser Durchschnitt hier nicht in Betrachtung zu kommen, und es ist allein die Länge aD und ac der Luft- und Quecksilbersäulen, mit welchen man zu thun hat. Man nehme an, daß das Quecksilber bis Z fällt, und nehme DZ $= x$ dm, so wird die Höhe der Quecksilbersäule $Zc = cD - DZ = 86 - x$ dm. Das Quecksilber wird dadurch im Gefäß AB ein wenig höher zu stehen kommen, doch nehme man jetzt hierauf einmal keine Rücksicht. Die Luft, welche im Raume $aD = 10$ Zoll enthalten ist, hat gleiche Elasticität mit der äußern Luft, und kann deshalb auch eine Quecksilbersäule äquilibriren, die zur Basis den Durchschnitt ab und eine Höhe von 76 Zollen hat, und weil die Oberflächen hier gleich sind, so muß der Druck oder die Elasticität der Luft proportional seyn der Höhe der Quecksilbersäule von 76 Zollen, folglich der Zahl 76 proportional seyn. Wird nun die Luft abD ausgedehnt im Raume DZ, welcher proportional ist der Höhe $ZD = x$, so nimmt ihre Elasticität 76 im umgekehrten Verhältnisse der Räume $ZD = x$ und $aD = 10$ ab. Diese elastische

Kraft wird deshalb $= \frac{760}{x}$ d. h. wenn die Luft im Raume a D = 10 eine Quecksilbersäule von 76 Zollen tragen kann, so wird diese Luft im großen Raume D Z = x sich ausdehnend, eine Elasticität besitzen, welche gleich ist dem Gewicht einer Quecksilbersäule von $\frac{760}{x}$ Zollen. Addirt man nun dazu die Quecksilbersäule Z c von $86 - x$ Zollen, so wird der ganze Druck auf c d $= \frac{760}{x} + 86 - x$, welcher Druck gleich seyn muß dem Drucke der äussern Luft, welcher durch 76 ausgedrückt werden kann; man bekommt deshalb die Gleichung

$$\frac{760}{x} + 86 - x = 76,$$

oder . . . $760 + 86\,x - x^2 = 76\,x;$

$$x^2 - 10\,x = 760;$$

woraus sich ergibt, daß x = beinahe 33 Zolle ist; weshalb die Höhe der Quecksilbersäule nun seyn muß = 86 — 33 = 53 Zoll statt 76 Zoll. Man kann sich von der Richtigkeit dieses Resultates leicht überzeugen, wenn man berechnet, welchen Druck die Luft a b D, in einem Raume Z D ausgedehnt, der zu ihrem ersten Volumen a b D sich wie 33 zu 10 verhält, ausüben kann, und wenn man nun diesen Druck zu denjenigen der Quecksilbersäule c Z von 53 Zollen addirt, so muß die Summe gleich seyn dem ganzen Drucke des Dunstkreises, d. h. gleich dem Druck einer Quecksilbersäule von gleicher Basis mit c Z und von 76 Zoll Höhe. Dieses verhält sich nun wirklich so; denn die Luft a b D kann im Raume 33 einen Druck ausüben von

$\frac{760}{x} = \frac{760}{33} = 23$ beinahe, wenn ihre Druckkraft vor der Ausdehnung $= 76$ ist; addirt man nun $53 = cZ$ und 23 zusammen, so erhält man wiederum 76.

18) Die Abnahmen und Zunahmen der Elasticität der Luft veranlassen sehr viele Erscheinungen und Wirkungen, von denen hier zur bessern Erläuterung des Vorhergehenden einige angeführt werden sollen.

a) Wenn eine offene Röhre A B C D Fig. 29 mit einem Ende C D unter die Oberfläche einer Flüssigkeit M N getaucht ist, und ein Kolben A B, welcher vollkommen in die Röhre paßt, in derselben auf- und niederbewegt werden kann, so wird, wenn der Kolben z. B. in der Höhe a b steht und die Luft a b C D unter demselben mit der äußern Luft gleiche Dichtheit besitzt, so wird diese Flüssigkeit in der Röhre bei derselben Höhe C D stehen, wie die Oberfläche M N der äußern Flüssigkeit, weil der Druck der Luft a C auf C D eben so groß ist, als der Druck der äußern Luft auf die Oberfläche M N der Flüssigkeit.

Hebt man nun den Kolben bis A B, so wird die Luft a C sich in dem größern Raume A C ausdehnen; ihre Elasticität und ihr Druck werden deshalb abnehmen, d. h. geringer werden als der Druck der äußern Luft, und durch diese letztere wird dann die Flüssigkeit M N in die Röhre über die Oberfläche M N bis zur Höhe D d getrieben, damit das Gewicht der Flüssigkeitssäule D C c d plus dem verminderten Druck der ausgedehnten Luft A B c d gleich sey und das Gleichgewicht halte dem Drucke der äußern Luft auf die Oberfläche M N. Diese Wirkung kommt besonders bei den Pumpen in Betrach-

tung (über welche im 5. Kap. dieser Abtheilung umständlicher gehandelt werden soll); denn das Steigen des Wassers im Pumpenstiefel wird bewirkt durch die Ausdehnung oder Verdünnung der Luft im Pumpenstiefel, und ferner durch das vollkommene Auspumpen der Luft, welche sich in dem genannten Stiefel befindet.

b) Würde man dagegen den Kolben A B Fig. 29 niederdrücken, z. B. bis c d, so müßte die Luft a b C D zusammengedrückt werden; sie würde eine größere Elasticität erlangen, als die äußere Luft, welche auf die Oberfläche M N drückt; die Flüssigkeit C D muß deshalb bis zu einer Tiefe d' c' unter die Oberfläche M N getrieben werden, bis der größere Druck der comprimirten Luft d c c' d minus dem Drucke einer Flüssigkeitssäule, welche den Durchschnitt C D zur Basis und zur Höhe die Differenz des Wasserspiegels D d' oder C c' hat, gleich ist dem Drucke der äußern Luft auf die Oberfläche M N. Die Luft d c c' d muß deshalb einen Druck ausüben, so groß als die äußere Luft, und über dieses noch ein Gewicht der Flüssigkeitssäule C D d' c' tragen können.

Wenn man deshalb ein Glas umgekehrt in einer vertikalen Richtung unter die Oberfläche einer Wassermasse drückt, so wird die Luft, welche zwischen den untergetauchten Wandungen des Glases enthalten ist, durch den Druck des Wassers comprimirt; und dieses wird um so mehr statifinden, je tiefer man das Glas untertaucht, aber obgleich das Wasser in das Glas bis zu einer gewissen Höhe bringen wird, so kann es doch niemals den Boden, der nach oben gekehrt ist, berühren, weil die Gegenwart und die Spannung der Luft im Glase dieses verhindern.

Auf diesem Grundsatze beruhen die sogenannten Taucherglocken, unter welchen man Jemanden

ins Wasser hinabsteigen lassen kann, um auf dem Boden desselben gewisse Arbeiten zu verrichten. Man kann diese Werkzeuge so einrichten, daß, wenn die Luft, welche sich unter der Taucherglocke befindet, für das Athmen und für die Unterhaltung der Flamme eines Lichtes untauglich geworden ist, sie durch frische comprimirte Luft ersetzt wird, und dadurch wird der Gebrauch der Taucherglocken äußerst nützlich.

c) Wenn man in einem Apparate, nach denselben Grundsätzen zusammengesetzt oder eingerichtet wie der Apparat der Wasserpresse Fig. 20, die Luft durch einige auf einander folgende Züge eines massiven Kolbens zusammenpreßt, so kann diese zusammengepreßte Luft, die beständig das Bestreben besitzt, sich wieder auszudehnen, einen großen Druck gegen ein Hinderniß ausüben, welchen Druck man zu irgend einem Zweck benutzen kann. Der Vorzug einer solchen Luftpresse vor einer Wasserpresse kann häufig darin bestehen, daß man von dem Druck der zusammengepreßten Luft in irgend einem Augenblicke nach der Zusammenpressung, wo es erforderlich ist, Gebrauch machen kann, wozu die Wasserpressen nicht so leicht einzurichten sind.

Es sey z. B. A Fig. 30 ein kleiner Cylinder, welcher mit einem Raum E communicirt, der wiederum durch ein senkrecht sich öffnendes Ventil B mit der äußern Luft communicirt, während der Cylinder A mit einem massiven Kolben verschlossen ist. C sey ein großer Cylinder, in welchem der bewegliche Kolben d e spielt, und durch die Röhre a b mit dem kleinen Cylinder A, so wie auch mit der Luftkammer D dergestalt communicirt, daß die Verbindung zwischen A und D abgesperrt werden kann durch das in senkrechter Richtung spielende Ventil a, und durch den Hahn b.

Wenn nun der Hahn b geschlossen wird und man die Luft durch das Ventil a in die Röhre ab pumpt, auf dieselbe Weise wie das Wasser in den großen Cylinder der Wasserpresse gepumpt wird, so wird diese Luft sich in den Windkessel d begeben und daselbst bis zu einem gewissen Grad zusammengepreßt werden können; hört man auf zu pumpen, so wird das Ventil a geschlossen bleiben und die zusammengepreßte Luft bleibt in ihrem Zustande, so daß, wenn es nöthig ist, mit dem Kolben de Druck auf gewisse Körper auszuüben, der Hahn b nur geöffnet zu werden braucht, um die zusammengedrückte Luft in den Cylinder C fließen und auf den Kolben de drücken zu lassen, auf welchen sie jedoch einen schwächern Druck ausüben wird, als auf die Wand des Windkessels, ehe der Hahn b geöffnet wurde, weil sie damals in einem kleinern Raume eingesperrt war.

Eine comprimirte Quantität Luft übt nicht allein einen Druck aus, sondern sie kann als eine Feder benutzt werden, um auf einmal einem Körper eine kräftige Bewegung mitzutheilen, wie dieses bei den Windbüchsen der Fall ist.

d) Man hat von der Wirkung, welche eine zusammengepreßte Quantität Luft gewährt, sehr viele nützliche Anwendungen gemacht, um Flüssigkeiten in Röhren über die Oberfläche steigen zu lassen, auf welche diese comprimirte Luft drückt und unter welche die genannten Röhren geleitet sind. Dieses ist z. B. der Fall bei den Wasserkünsten, durch welche man Wasser aus der Tiefe in die Höhe bringt; bei Fontainen und Spritzen, um die Höhe der Wasserstrahlen zu vergrößern, oder den Wasserstrahl ununterbrochen springen zu lassen; bei Lampen, um das Oel beständig auf einer unveränderlichen Höhe die Dochte umgeben zu lassen, so daß die Helligkeit des

13 *

Lichtes durch das Sinken der Oeloberfläche in den Gefäßen oder Röhren, aus welchen es ans Docht gelangt u. s. w. nicht vermindert werde; die Grenzen dieses Werkes gestatten indessen nicht, alle diese und noch mehrere andere nützliche Erfindungen durch vollständige Beschreibungen näher zu erläutern.

19) Obschon man wohl voraussetzen darf, daß die Luft auf und gegen jeden Theil eines nicht sehr voluminösen Körpers einen gleichen Druck ausübt, weil die Differenz des Druckes auf höher und tiefer gelegene Theile alsdann höchst gering ist, so besteht doch in einem strengen Sinne Differenz im Druck auf die obern und untern Flächen jedes in der Luft befindlichen Körpers. So wie nun jeder Körper, der z. B. in das Wasser getaucht ist, eben soviel an Gewicht verliert, als das Gewicht der durch diesen Körper verdrängten Quantität Wasser beträgt, so muß auch jeder Körper in der Luft soviel Gewicht verlieren, als die Quantität Luft wiegt, welche der vom Körper eingenommene Raum fassen kann.

Hieraus muß nun folgen:

1) Daß, wenn das Volumen eines Körpers, den man wägt, im Verhältniß zum Gewichte, womit man wägt, groß ist, das Resultat immer demselben ein geringeres Gewicht ergeben wird, als der Körper wirklich besitzt; denn da der Verlust an Gewicht dann proportional ist der körperlichen Extension, so wird der größere Körper mehr an Gewicht verlieren, als das weniger voluminöse Gewicht, welches man zum Wägen benutzt.

2) Daß, wenn ein Körper oder eine Substanz bei dem Volumen, welches er einnimmt, weniger wiegt, als ein gleiches Volumen Luft, in welcher er sich befindet, dieser Körper alsdann in der Luft emporsteigen muß, wie dieses auch im Wasser der Fall ist.

Eine Substanz oder ein Stoff, welcher specifisch leichter ist, als die atmosphärische Luft, steigt deshalb empor. Dieses ist z. B. mit einigen andern Luftarten mit Dämpfen oder mit Rauch, und auch mit Luft der Fall, welche durch die Wärme eines Feuers verdünnt ist. Diese steigen in der Atmosphäre eben so empor, als die atmosphärische Luft in einer dichtern Luftart, oder auch in Wasser emporzusteigen pflegt. Verdünnt man die Luft in einem hohlen Körper, oder pumpt man die Luft aus demselben soweit als möglich ist, oder füllt man diesen Körper mit einer durch Wärme verdünnten Luft, oder mit einer Luftart von viel geringerer specifischer Schwere, als die atmosphärische Luft (was z. B. beim Wasserstoffgase der Fall ist), und sperrt man alsdann durch einen Hahn oder Ventil die Communication der Atmosphäre mit dem Innern des Körpers ab, so kann es sich ereignen, daß dieser Körper ebenfalls in die Luft emporsteigt, ungeachtet er aus einem Stoffe besteht, welcher viel schwerer, als die atmosphärische Luft ist; denn hierzu wird nichts anderes erfordert, als daß eine Quantität Luft von gleichem Volumen mit dem Körper schwerer wiegt, als der hohle Körper sammt der Gasart, mit welcher derselbe gefüllt ist. Hieraus erklärt sich nun die Ursache des beträchtlichen Steigens der Luftballons, welche mit Wasserstoff gefüllt werden und aus einer Menge großer Streifen, oder Stücken von Wachstaffet, oder auch wohl aus Papier zusammengesetzt sind.

Drittes Kapitel.

Ueber das Ausströmen der Flüssigkeiten, besonders des Wassers aus Gefäßen, oder aus Sammelbehältern, und über die Gesetze der Bewegung des Wassers in Röhren, Rinnen und Canälen.

§. I.

Ueber die Umstände der Bewegung des Wassers oder der Flüssigkeiten, welche aus Oeffnungen strömen, im Boden eines Gefäßes angebracht, das bis zu derselben Höhe immer gefüllt bleibt.

20) Es ist in den Anwendungen der Werkzeugswissenschaft eben so wichtig mit den Gesetzen der Bewegung der Flüssigkeiten, besonders des Wassers, als wie mit den Gesetzen der Bewegung fester Körper bekannt zu seyn. Die Umstände, welche bei der Bewegung der festen Körper stattfinden, können in den meisten Fällen durch die Grundsätze der Mechanik ausgemittelt und genau angegeben werden; dieses ist jedoch für die Bewegung der Flüssigkeiten in jeder Hinsicht keineswegs der Fall. Die Kenntniß alles desjenigen, was sich bei der Bewegung einer Flüssigkeit ereignet, deren Theile nur einigermaßen an einander kleben, jedoch keinen Zusammenhang haben und in einem hohen Grade beweglich sind, ist noch sehr unvollkommen. Eine große Menge Versuche mit viel Sorgfalt und Genauigkeit angestellt, auf verschiedene Weise wiederholt und unter verschiedenen Umständen ausgeführt, haben nur so viel gelehrt, daß das wahre Maß der Bewegung einer Flüssigkeit, besonders des Wassers in den meisten Fällen praktischer Anwendung an-

nähernd mit einer ausreichenden Genauigkeit bestimmt werden kann. In der Praxis braucht man hauptsächlich zu wissen, welches das Maß der Bewegung des Wassers ist, das unmittelbar, oder durch Hähne, oder durch kurze und lange Röhren aus einem Gefäß, oder aus einem verschlossenen Wasserbehälter strömt, mag nun der Spiegel der genannten Wasseransammlung immer auf gleicher Höhe erhalten werden, oder wegen Mangel an Nachfüllen und in Folge des Ausfließens stets sinken; ferner welches das Maß der Bewegung des Wassers ist, welches in Leitungsröhren und Rinnen, oder in Becken fließt, oder in abgeschrägten Canalbetten und kleinen Flüssen strömt. Die Regeln, durch welche dieses alles bestimmt werden kann, sollen jetzt angegeben werden, in sofern nämlich diese Regeln durch die Erfahrung bestätigt oder bekannt geworden sind, und in sofern man dieselben zu mechanischen Anwendungen benutzen kann.

21) Es sey ABCD Fig. 31 ein Gefäß, bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser gefüllt, und unten im Boden CD mit einer kleinen Oeffnung cd versehen, aus welcher das Wasser mit einer gewissen Geschwindigkeit strömt. Es werde ferner noch angenommen, daß die Wasserhöhe ac unveränderlich bleibe, so daß das Gefäß nicht leer wird, sondern beständig auf irgend eine Weise mit eben soviel Wasser, als ausströmt, wieder gespeist werde. Wenn der ganze Boden CD des Gefäßes auf einmal weggenommen würde, so würde die ganze Wassermasse ABDC ausströmen; jedes Theilchen dieser Masse würde, da es der Schwerkraft gehorcht, dieselbe beschleunigende Bewegung bekommen, so daß die Bewegung eines solchen Theilchens nicht beschleunigt oder verzögert werden kann. Aber wenn die Ausströmung nur durch eine kleine Oeffnung cd des

Bodens stattfindet, so ist der Fall anders, denn zu Obigem ist erforderlich, daß die Theilchen der Wassersäule c d b a (welche dicht über der Oeffnung c d liegt) bei ihrer gleichzeitigen und gleichschnellen Ausströmung nicht ersetzt werden durch die Theilchen des angrenzenden und hinzukommenden Wassers; weil dieses aber stattfindet, so werden diese Theilchen von denen immer gedrückt, durch welche sie beständig ersetzt werden. Die Theilchen, welche im Durchschnitte der Säule a b d c an der Oeffnung der Ausströmung c d enthalten sind, werden deshalb immer gedrückt durch das Gewicht der Wassersäule a b d c, und dadurch müssen sie eine größere Geschwindigkeit bekommen, als wenn sie blos durch eigne Schwere sänken, und ohne dabei den Widerstand der Luft zu berücksichtigen, welche der ausströmende Wasserstrahl verdrängen muß.

Da die Geschwindigkeit des Ausströmens nun vermehrt wird durch das Gewicht der Wassersäule, welche über der Oeffnung c d steht, und da dieses Gewicht größer oder geringer wird, je nachdem sich die Höhe a c der Säule vermehrt oder vermindert, so hängt die Geschwindigkeit des Ausströmens einmal von dieser Höhe ab; während sowohl Betrachtung, als Erfahrung lehren, daß sie proportional sey der Quadratwurzel aus der Höhe des Wassers über der Oeffnung c d, d. h. die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser ausströmt, wird gleich seyn derjenigen, welche ein durch die Höhe a c frei fallender Körper am Ende dieses Falles erlangt hat. Nennt man deshalb die Geschwindigkeit des Ausströmens S, die Höhe a c = h, und die Wirkung der Schwerkraft (es beträgt nämlich die Geschwindigkeit 9,81216 Ellen, welche ein Körper in der ersten Secunde des freien Falles

erlangt) g, so wird die Geschwindigkeit des Ausströmens ausgedrückt durch

$$S = 2\sqrt{gh} = 4{,}429\sqrt{h} \;\ldots\; (1)$$

(siehe Theil I. Art. 37 Formel 6), während diese Geschwindigkeit, wenn die Wassertheilchen nicht durch das Gewicht der von oben zufließenden Säule gedrückt werden, erst erlangt wird, nachdem sie durch den Raum $h = ac$ gesunken sind.

Es werde der Durchschnitt der Oeffnung d genannt; der kleine Raum, durch welchen die im Durchschnitte d befindlichen Theilchen in einem kleinen Augenblick bewegt werden, r, so ist die Quantität Wasser, welche in demselben Augenblick durch die Oeffnung strömt $= r \times d$ Kubikeinheiten (z. B. Kubiklinien), und wenn das Gewicht einer Kubikeinheit Wasser bezeichnet wird durch w, so kann das Gewicht der ausgeflossenen Wasserquantität ausgedrückt werden durch das Produkt $d \times r \times w$; die Masse dieser Quantität wird deshalb gleich seyn $\frac{drw}{g}$ (siehe Theil I. Art. 41) und weil diese Masse bewegt wird mit einer Geschwindigkeit S (welche hier gefunden werden muß), so ist eine lebende Kraft vorhanden

$$= \frac{drw}{g} \cdot S^2,$$

(siehe Theil I. Art. 44). Es muß hier bemerkt werden, daß die ganze Wassersäule abcd in derselben Zeit, in welcher die Masse $\frac{drw}{g}$ durch den Raum r bewegt wird, auch durch einen gleichen Raum geführt wird, d. h. um eben soviel sinkt. Nun ist das Gewicht dieser Säule $= d \cdot h \cdot w$ (wenn

man nämlich h die Höhe a c mit demselben Maße gemessen nennt, in welchem r ausgedrückt ist), und durch die Bewegung dieses Gewichtes, durch den Raum r entsteht dann eine Quantität der Wirkung

$$= d \cdot h \cdot w \times r;$$

da nun bei jeder Bewegung die lebende Kraft gleich ist dem Doppelten der Quantität der Wirkung (Theil I. Art. 44), so muß das Doppelte von d h w r gleich seyn

$$\frac{d \cdot r \cdot w}{g} \cdot S^2 \text{ d. i.}$$

$$\frac{d r w}{g} \cdot S^2 = 2 \, d r w h,$$

und dividirt man diese Gleichung mit den Zahlen d r w, welche in beiden Gliedern vorkommen, und multiplicirt man hierauf mit g, so erhält man

$$S^2 = 2 g h$$

d. i. $S = \sqrt{2 g h} = \sqrt{19,62432 \cdot h} = (\sqrt{19,62432}) \cdot \sqrt{h} = 4,429 \sqrt{h}$, was zu beweisen war.

22) Die Formel $S = 4,429 \sqrt{h}$, die wir so eben gegeben haben, ist entwickelt worden in der Voraussetzung, daß die Oeffnung der Ausströmung klein ist im Verhältnisse zur Extension der Bodenoberfläche, in welche diese Oeffnung gemacht ist. Die Erfahrung lehrt, daß die Formel sehr richtig ist, wenn die Oberfläche der Oeffnung beinahe $\frac{1}{325}$ der Oberfläche des ebenen Bodens beträgt, und daß sie alsdann beinahe immer angewendet werden kann, so lange das Verhältniß der erwähnten Oeffnung nicht das Verhältniß von 1 zu 20 überschreitet; nur muß man für diese größte Oeffnung bemerken, daß

die wahre Geschwindigkeit erst nach 3 oder mehr Sekunden der Ausströmung mit der berechneten Geschwindigkeit übereinstimmen wird (unter der Voraussetzung, daß man die Berechnung für die Zusammenziehung des Wasserstrahles, worüber gleich näher gehandelt werden soll, corrigire). Aber wenn die Oberfläche der Ausströmungsöffnung größer wird, als $\frac{1}{20}$ der Oberfläche der Wand, in welche sie gemacht ist, so wird die Abweichung so groß, daß man von dieser Formel keinen Gebrauch machen kann; die Ausströmung erfolgt dann mehr auf die Weise, als ob der Boden eines Gefäßes plötzlich weggenommen wird, da aber die angrenzenden Wassertheilchen eben so geschwind zufließen, als die ausströmenden Theilchen weichen, und da dieses mit um so stärkern Trieb geschieht, je größer die Oeffnung der Ausströmung wird, so bleibt der Druck auf die ausströmenden Wassertheilchen an der Oeffnung vorhanden, und die Geschwindigkeit wird dann größer, wenn die Oeffnung eng ist. In der Praxis ist man beinahe immer im Stande, innerhalb der oben genannten Grenze von $\frac{1}{20}$ zu bleiben; deshalb ist es jetzt nicht nöthig, den so eben erwähnten Fall noch anderweit zu beleuchten und die Formel anzugeben, durch welche man (doch auch nur bis zu gewissen Grenzen) die Geschwindigkeit der Ausströmung bestimmen kann, im Fall die Oeffnung für die Ausströmung viel größer als $\frac{1}{20}$ der Oberfläche des horizontalen Bodens seyn sollte.

23) Es hält gar nicht schwer, die Quantität des Wassers, welche in einer bestimmten Zeit aus einer Oeffnung von bekannter Größe strömt, zu berechnen; denn kennt man die Geschwindigkeit der Bewegung in der Sekunde, so wird in der Sekunde durch die Oeffnung eine Wassersäule ausströmen, welche zur Basis hat die Oberfläche der Oeffnung

und zur Höhe den Raum, den die Wassertheilchen in der gedachten Zeit von 1 Sekunde durchlaufen. Multiplicirt man alsdann diese Wasserquantität mit der Anzahl von Sekunden, während welcher die Ausströmung stattfinden wird, so bekommt man das Verlangte. Wenn man indessen hierbei gewisse Umstände unberücksichtigt läßt, welche bei der Ausströmung des Wassers aus einer gewissen Oeffnung obwalten, so wird die Berechnung mehr geben, als wirklich Wasser ausfließt, indem die Basis der Wassersäule, von welcher so eben gesprochen wurde, kleiner genommen werden muß, als die eigentliche Oeffnung der Ausströmung und zwar wegen der sogenannten Zusammenziehung des Wasserstrahles. Denn die parallele Bewegung der verschiedenen Wasserschichten von oben nach unten findet nur bis zu einer gewissen Entfernung vom Boden G D Fig. 31 statt; von diesem Abstande, welcher meistentheils sehr klein ist, weicht der Parallelismus der Bewegung der Wassertheilchen stets mehr und mehr ab; sie werden gleichsam nach der Oeffnung c d gezogen und fließen eben so trichterförmig zu, wie in der Figur einigermaßen dargestellt ist.

Durch diese schräg gerichtete Bewegung der an den Seiten gelegenen Wassertheilchen wird die Ausströmung der Wassertheilchen verhindert, welche in der ausströmenden Säule a b c d enthalten sind. Diese Theilchen werden genöthigt, von der vertikalen Richtung der Bewegung abzuweichen, und der ausströmende Wasserstrahl c d f e wird an der Oeffnung bei g h zusammengezogen, während er sich jenseits dieses Punktes wieder ausbreitet, indem die Hauptursache der Zusammenziehung, nämlich der schräge Zufluß der angrenzenden Wassertheile am Umfange der Oeffnung c d nicht mehr obwaltet.

Da die Bewegung des Wassers also behindert wird, so muß man für die Oeffnung der Ausströmung nicht die wahre Oeffnung c d, sondern eine Oeffnung nehmen, deren Oberfläche gleich ist derjenigen des Durchschnittes g h des Wasserstrahles am Punkte der größten Zusammenziehung. Man muß dann die Quantität der Zusammenziehung kennen und was hierüber durch die Erfahrung bekannt geworden ist, soll sogleich mitgetheilt werden.

Es gibt noch eine andere Ursache, durch welche die Quantität des ausströmenden Wassers etwas vermindert wird, nämlich die Reibung der Wassertheile am Umfange der Ausströmungsöffnung. Wie gering diese Wirkung der Reibung auch scheinen möge, so ist sie doch von einem wesentlichen Einfluß auf die Verminderung der Quantität des ausströmendrn Wassers; hat der Boden eine beträchtliche Dicke, so reiben sich die Wassertheilchen an der Dicke des Umfanges der Oeffnung k d, welche alsdann als ein hohles Prisma, oder als ein hohler Cylinder betrachtet werden kann, an dessen innern Wänden die gedachte Reibung stattfindet; diese Reibung hindert die freie Bewegung der Wassertheile; man kann annehmen, daß sie mit dazu beiträgt, die Zusammenziehung des Wasserstrahles zu vermehren, d. h. den Ausfluß des Wassers zu vermindern. Auch nimmt man einen wesentlichen Unterschied wahr zwischen den Quantitäten Wasser, welche aus zwei gleichen Oeffnungen (und unter derselben Wasserhöhe) ausgeflossen sind, sobald nur die eine Oeffnung sich in einer dünnern Wandung oder Boden als die andere befand.

Um deshalb die Reibung zu vermindern, muß man den Boden an der Oeffnung so dünn als möglich machen, so daß der Umfang der Oeffnung die geringste Dicke erhält, was man auf die Weise er-

reicht, daß man den Boden am Umfange der Oeffnung abrundet, siehe Fig. 32.

Die Reibung wird natürlich auch größer mit der Oeffnung, weil eine größere Oeffnung von derselben Gestalt auch einen größern Umfang hat; da jedoch unter allen Oeffnungen von derselben Größe eine kreisförmige Oeffnung den kleinsten Umfang hat, so wird diese auch eine geringere Quantität der Reibung erzeugen, und eine größere Quantität der Ausströmung zulassen, als irgend eine Oeffnung von einer andern Gestalt. Wenn man die Umfänge verdoppelt, verdreifacht u. s. w., so werden die Oberflächen vierfach, neunfach u. s. w.; deshalb ist die Reibung am Umfange einer Oeffnung verhältnißmäßig größer, je enger diese Oeffnung wird.

Endlich wird die Reibung, wenn alle andern Umstände sich gleich bleiben, etwas geringer, sobald die Wasserhöhe im Gefäß abnimmt, indem der Druck auf die ausströmende Wassersäule dann zunimmt, und alsdann auch eine größere Kraft vorhanden ist, um die Reibung der Wassertheile am Umfange der Oeffnung zu überwinden. Alles zusammengenommen wird der Widerstand der Reibung einen geringern Einfluß haben auf die Quantität des ausgeflossenen Wassers, je nachdem die Wasserhöhe im Gefäße größer, die Oeffnung (welche wir als kreisförmig annehmen) weiter und die Dicke der Wandung oder des Bodens an der Oeffnung geringer ist. Wie groß die Wirkung der Reibung sey, um die Quantität des ausgeflossenen Wassers zu vermindern, kann nur durch die Erfahrung bestimmt werden. Diese Quantität trägt auch sammt der Zusammenziehung des Wasserstrahles zu der eben erwähnten Verminderung mit bei; man

kann annehmen, daß sie in dem Betrage der Zusammenziehung des Wasserstrahles d. h. in den Resultaten der Versuche oder Untersuchungen mit enthalten ist, welche jetzt und weiter unten angegeben werden sollen.

24) Angenommen, daß die Ausströmung stattfindet aus einer Oeffnung mit dünnem Umfang, so wird die Quantität der Zusammenziehung des Wasserstrahles nach der Erfahrung hauptsächlich in den zwei folgenden Fällen verschieden seyn:

A) Wenn die Oeffnung über's Kreuz beinahe zwei Zoll und mehr beträgt.

B) Wenn sie weniger als beinahe zwei Zoll in der Weite beträgt.

A) Im ersten Falle nimmt man noch eine wesentliche Verschiedenheit wahr, je nachdem

a) die Wasserhöhe über der Oeffnung mehr als 10 oder 12 Mal die Weite der Oeffnung beträgt (wie auch die Gestalt dieser Oeffnung seyn möge, sobald sie nur keine sehr scharfe oder noch weniger einspringende Ecken hat).

b) Wenn die Höhe und folglich wenn der Abstand der Wasseroberfläche von der Ausströmungsöffnung gleich ist, ja sogar noch weniger beträgt, als 10 oder 12 Mal die Weite der Oeffnung.

a) Die Zusammenziehung des Wasserstrahles findet im Durchschnitte statt in einer Entfernung c g Fig. 31 von der Oeffnung, welche gleich ist dem halben Durchmesser der Oeffnung c d; und wenn die Wasserhöhe nicht viel mehr oder weniger, als 12 Mal die Weite der Oeffnung beträgt, so ist die Zusammenziehung dieser Quantität d. h. der Inhalt des Durchschnittes g h des Halbmessers am Punkte der größten Zusammenziehung $= 0{,}628$,

wenn der Inhalt der Oeffnung c d = 1 angenommen wird. Im Durchschnitte ist dann der Inhalt von g h = $\frac{5}{8}$ des Inhaltes von c d, so daß die wahre Quantität des ausgeflossenen Wassers dann nur $\frac{5}{8}$ der berechneten Quantität der Ausströmung beträgt. Nimmt jedoch die Wasserhöhe zu, so werden die angrenzenden Wassertheilchen mit größerem Trieb nach der Oeffnung von den Seiten her zufließen, und da die vertikale Bewegung der Wassertheile a c b d dann mehr behindert wird, so muß die Quantität der Zusammenziehung des Wasserstrahles größer werden. Diese Quantität wird für eine Wasserhöhe, welche der 200fachen Weite der Oeffnung gleich ist = 0,615, so daß die mittlere Proportionalzahl zwischen 0,615 und 0,621 seyn wird = 0,616, welche Zahl man, ohne viel von der Wahrheit abzuweichen, für alle Fälle, in welchen die Wasserhöhe mehr als die zwölffache Weite der Oeffnung beträgt, annehmen kann.

b) Für eine geringere Wasserhöhe als die zwölffache Oeffnung c d wird die Zusammenziehung des Wasserstrahles kleiner, und die Quantität des ausgeflossenen Wassers nimmt dadurch in demselben Verhältnisse zu. Dieses wird sich ergeben aus einer Betrachtung und Vergleichung der Zahlen der nachstehenden kleinen Tabelle.

Nennt man die Weite der Oeffnung d, so muß:

Wenn die Wasserhöhe ist	200 · d,	die Zusammenziehung seyn	=	0,615	×	Oeffnung	c d.
„ „ „ „	100 · d,	„ „ „	=	0,618	×	Oeffnung	c d.
„ „ „ „	12 · d,	„ „ „	=	0,621	×	Oeffnung	c d.
„ „ „ „	10 · d,	„ „ „	=	0,620	×	Oeffnung	c d.
„ „ „ „	9 · d,	„ „ „	=	0,621	×	Oeffnung	c d.
„ „ „ „	8 · d,	„ „ „	=	0,622	×	Oeffnung	c d.
„ „ „ „	7 · d,	„ „ „	=	0,623	×	Oeffnung	c d.
„ „ „ „	6 · d,	„ „ „	=	0,625	×	Oeffnung	c d.
„ „ „ „	5 · d,	„ „ „	=	0,627	×	Oeffnung	c d.
„ „ „ „	4 · d,	„ „ „	=	0,630	×	Oeffnung	c d.
„ „ „ „	3 · d,	„ „ „	=	0,633	×	Oeffnung	c d.
„ „ „ „	2 · d,	„ „ „	=	0,637	×	Oeffnung	c d.
„ „ „ „	1 · d,	„ „ „	=	0,642	×	Oeffnung	c d.

Die letzten Zahlen für die geringen Wasserhöhen von 1 • d, 2 • d, 3 • d werden für enge Oeffnungen nicht genau seyn, weil sich dann wegen der geringen Entfernung der Wasseroberfläche vom Boden über der Ausströmungsöffnung ein Trichter bildet, durch welchen die Bewegung der Wassertheile einigermaßen gestört wird.

B) Wenn die Ausströmungsöffnung kleiner ist als beinahe 2 Zoll, so wird das Ergebniß größer, so daß es für sehr enge Oeffnungen von z. B. 1 Linie Durchmesser beinahe mit der berechneten Quantität des ausgeflossenen Wassers übereinstimmen wird. Für Oeffnungen zwischen den Weiten von 20 Linien und 7 Linien findet noch immer eine merkliche Zusammenziehung des Wasserstrahles statt und man kann die mittlere Oeffnung der Ausströmung auf 0,69 setzen, also beinahe auf $\frac{7}{10}$ der Oberfläche der wahren Oeffnung. Die genaue Quantität der Zusammenziehung für verschiedene Oeffnungen unter zwei Zoll Weite ist durch Versuche noch nicht genau ausgemittelt worden.

25) Setzt man an die Oeffnung eine kurze Röhre a b d c Fig. 33, deren Länge die zwei- oder dreifache Weite der Oeffnung a b beträgt, so daß sie über den Punkt der größten Zusammenziehung des Wasserstrahles hinausreicht, und daß das Wasser ohne Zusammenziehung aus derselben strömt, so nimmt man wahr, daß das Ergebniß größer wird, als es wirklich vor der Ansetzung dieser Röhre der Fall war. Der Grund davon liegt darin, daß der Wasserstrahl verhindert wird, sich auszubreiten, und zugleich die ausströmenden, wie die von den Seiten zufließenden Wassertheilchen hindert, sich in einer schrägen Richtung frei zu bewegen. Die Zusammenziehung des Wasserstrahles kann also nicht im

vollen Maße stattfinden und die Quantität des aus-
fließenden Wassers muß folglich zunehmen.

Die Länge der angesetzten Röhre darf nicht mehr oder weniger betragen, als $2\frac{1}{2}$ bis 3 Mal die Weite der Ausströmungsöffnung, denn im letzten Falle ist sie unzulänglich, die Ausbreitung des Wasserstrahles zu verhindern, und im ersten Falle muß sie durch ihre größere Länge verursachen, daß die Wassertheile an einer größern Oberfläche während der Bewegung sich reiben, eine größere Reibung zu überwinden haben, wodurch der Widerstand zunimmt, während das Ergebniß des ausströmenden Wassers kleiner wird. Dieses leidet jedoch keine Anwendung auf sehr enge Oeffnungen, da die Zusammenziehung des Wasserstrahles auf eine größere Entfernung von der Ausströmungsöffnung stattfindet, je nachdem diese Oeffnung enger, d. h. z. B. stets weniger und weniger als 16 oder 15 Linien wird.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß, wenn die Oeffnung nicht sehr klein ist, und die angesetzte Röhre $2\frac{1}{2}$ bis 3 Mal die Weite der Ausströmungsöffnung zur Länge hat, die Zusammenziehung des Wasserstrahles (welche sonst im Durchschnitt auf $\frac{5}{8}$ gesetzt werden kann) nur beinahe $\frac{13}{16}$ der wahren Oeffnung beträgt, so daß ein wesentlicher Vortheil bei Anwendung einer kurzen Ausströmungsröhre stattfindet. Die reducirte Ausströmungsöffnung wird dann wegen der noch immer stattfindenden Zusammenziehung des Wasserstrahles = 0,812 Mal die wahre Oeffnung der Ausströmung, unter der Voraussetzung, daß die Wasserhöhe wenigstens die zehnfache Weite der Oeffnung beträgt; ist diese Wasserhöhe größer oder kleiner, so muß auch die Quantität der Zusammenziehung vermindert oder vermehrt werden, und zwar im Verhältnisse der Zahlen, welche in der vorhergehenden Tabelle des Art. 24 angege-

ben worden sind, so daß sie z. B. für eine Höhe des Wassers = 12 · d und = 200 · d werden muß = 0,8125 (= $\frac{13}{16}$), und = 0,806. In wiefern das Ergebniß des ausfließenden Wassers mit der Länge der Röhre abnimmt, läßt sich daraus abnehmen, daß z. B. für eine Röhre, deren Länge die achtfache Weite der Oeffnung beträgt, die Zusammenziehung des Wasserstrahles = 0,8 wird, indem sie für eine nicht kleine Oeffnung merklich kleiner als 0,812 ist.

Die Wirkung der Zusammenziehung des Wasserstrahles wird am allermeisten vermindert, wenn man die Oeffnung am Boden rund auslaufen läßt, in der Form f c d e Fig 34, welche der Gestalt des zusammengezogenen Wasserstrahles nahe kommt, so daß das Wasser bequemer ausfließen kann, und die von den Seiten zufließenden Theilchen wenig oder keine Behinderung für das Niedersteigen der vertikal bewegten Theilchen erzeugen. Es soll a b die wahre Oeffnung vorstellen; man mache a c = $\frac{1}{2}$ a b = b d, und verbinde die Punkte c und f, d und e durch die Quadranten c f und d e, so daß das Wasser nun genöthigt ist, aus der Oeffnung c d (= a b) zu fließen, alsdann wird zwar noch einige Zusammenziehung stattfinden, jedoch wird sie sehr gering seyn, so daß die Oberfläche der reducirten Oeffnung reichlich $\frac{24}{25}$ der Oberfläche der wahren Oeffnung betragen wird. Es ist deshalb sehr vortheilhaft, den Ausströmungsöffnungen die angezeigte Form zu geben, um die Wirkung der Zusammenziehung des Wasserstrahles bis beinahe auf nichts zu bringen.

26) Da die Geschwindigkeit der Ausströmung bestimmt ist durch die Gleichung

$S = \sqrt{2gh} = 4{,}429 \sqrt{h}$ . . . . . . (1)

so wird, wenn man die Oberfläche der Ausströ-

mungsöffnung O nennt, die Quantität des ausgeströmten Wassers in 1 Sekunde betragen

$Q = O \cdot S = 4{,}429 \cdot O \sqrt{h}$ . . . (2)

und in der Zeit von t Sekunden wird diese Quantität betragen

$M = t \cdot O = 4{,}429 \cdot t \cdot O \sqrt{h}$ . . (3)

ohne die Reduction, welche wegen der Zusammenziehung des Wasserstrahles vorgenommen werden muß. Es wird übrigens diese Quantität in Kubikellen, Palmen oder Zollen gefunden, je nachdem man die Wasserhöhe h in Ellen, Palmen, Zollen, wie auch die Oberfläche O nach Quadratellen, Palmen oder Zollen gemessen hat.

Es kommen in den drei obigen Gleichungen sechs verschiedene Größen vor, nämlich S, h, Q, O, M und t, welche alle durch besondere Gleichungen bestimmt werden können, wenn einige derselben bekannt sind. Es ist nicht nöthig, hier alle diese Gleichungen aufzuführen, da sich aus dem folgenden Beispiele begreifen läßt, wie man zu Werke gehen muß, um eine der genannten Größen durch andere gegebene Größen zu bestimmen.

Aus einer runden Oeffnung von 19 Quadratzoll im dünnen Boden eines Gefäßes, welches 1 Elle hoch beständig voll gehalten wird, ist eine Quantität von 1 Kubikelle Wasser ausgeströmt, und man verlangt nun die Zeit zu erfahren, in welcher dieses geschehen ist, so wie auch die Geschwindigkeit, mit welcher die Ausströmung von Statten ging?

Da die Wandung an der Oeffnung dünn ist, und weil die Oeffnung nicht trompetenartig gestaltet ist, auch nicht durch eine kurze Röhre verlängert ist, so findet die Zusammenziehung des Wasserstrahles im vollen Maße statt, und da die Weite der Oeffnung beinahe 5 Zoll beträgt, während die

Wasserhöhe 100 Zoll beträgt, also die zwanzigfache Weite der Oeffnung, so muß man für die Quantität der Zusammenziehung setzen 0,616 (siehe Art. 24). Die Oberfläche von 19 Zollen wird hierdurch gebracht auf $0{,}616 \times 19 = 11{,}704$ Quadratzolle. Setzt man nun in der Formel

$$M = 4{,}429 \cdot t \cdot O \sqrt{h}$$

für M die Zahl 1000000 Kubikzolle, $O = 11{,}704$ Quadratzolle, und $h = 100$ Zolle ($\sqrt{h} = \sqrt{100} = 10$), so wird

$$1000000 = 4{,}429 \cdot t \cdot 11{,}704 \cdot 10$$

oder $4{,}429 \times 11{,}704 \times t = 1000000$, woraus folgen muß

$$t = \frac{1000000}{4{,}429 \cdot 11{,}704} = \frac{1000000}{51{,}837016} = 1929''.$$

Die Zeit der Ausströmung beträgt deshalb 1929 Sekunden oder $32\frac{1}{6}$ Minute.

Um die Geschwindigkeit zu finden, ziehe man in Erwägung, daß die Quantität der Ausströmung in 1 Sekunde beträgt $\frac{1000000}{1929}$ Kubikzolle; dividirt man nun diese Zahl durch den Werth von $O = 11{,}704$, so bekommt man nach der zweiten Formel

$$S = \frac{Q}{O} = \frac{1000000}{1929 \times 11{,}704} = 44{,}3,$$

in 1 Sekunde strömt deshalb das Wasser durch die Oeffnung mit einer Geschwindigkeit von 0,443 Ellen, was man auch wirklich findet durch die Berechnung der Formel

$S = 4{,}429 \sqrt{h} = 4{,}429 \sqrt{100} = 4{,}429 \cdot 10 = 44{,}29$ Zoll = beinahe 0,443 Ellen.

Anmerk. In der Berechnung dieses Beispieles ist die Geschwindigkeit berechnet in der Voraussetzung, daß die Ausströmungsöffnung durch die Zusammenziehung des Wasserstrahles verengert wird; man kann auch, — und dieses ist in vielen Hinsichten (wie sich nachher ergeben wird) von großer Wichtigkeit — annehmen, daß es die Geschwindigkeit sey, welche durch die Zusammenziehung des ausströmenden Wassers vermindert wird, während die Ausströmungsöffnung dann unverändert bleibt.

§. II.

Formeln, um die Geschwindigkeit, und um die Quantität des aus einer Seitenöffnung eines Gefäßes, welches beständig voll gehalten wird, ausströmenden Wassers zu bestimmen u. s. w.

27) Wenn man in die Seitenwandung eines Gefäßes eine Oeffnung macht, so werden die Gesetze der Ausströmung des Wassers vollkommen dieselben seyn, als in dem Falle, wo die Oeffnung im Boden angebracht ist, nämlich die Geschwindigkeit der Ausströmung eines Wassertheiles wird gleich seyn derjenigen, welche ein Körper erlangt, der durch eine Höhe gleich der Entfernung des genannten Theiles von der Wasseroberfläche frei fallen würde. Alle in derselben Höhe liegenden Theilchen werden deshalb mit gleicher Geschwindigkeit ausfließen, aber ihre Geschwindigkeit wird mit derjenigen anderer Theile differiren, die einem Punkte der Oeffnung entsprechen, der einen größern oder kleinern Abstand von der Wasseroberfläche hat. Hieraus muß nun folgen, daß die Formeln des vorhergehenden §. im gegenwärtigen Falle nicht angewendet werden können, es müßte denn die Ausströmungsöffnung sehr klein seyn; sie werden natürlich anders, wenn die

Ausströmungsöffnung eine mehr als geringe Oberfläche bekommt, so wie auch die Zusammenziehung des Wasserstrahles meistens einen andern Werth bekommt.

Um die Quantität M des Wassers zu berechnen, welches in einer gewissen Zeit t durch eine Seitenöffnung von bestimmter Form ausfließt, muß man diese Quantität besonders für alle Punkte der Oeffnung bestimmen, die in verschiedenen Entfernungen von der Wasseroberfläche liegen; und diese partiellen Quantitäten zu einer Summe zusammengerechnet, ergeben die ganze Größe von M. Die abgekürzte Art, wie diese Rechnung angestellt wird, kann hier nicht entwickelt werden; deshalb sollen allein die Resultate der Berechnung der Wasserquantitäten, welche aus einer rechteckigen und aus einer runden Seitenöffnung ausgeströmt sind, hier mitgetheilt und für die Anwendung näher erklärt werden.

28) Man nenne die Höhe a c Fig. 35 der Wasseroberfläche A B über der horizontalen Basis einer rechtwinkligen seitenständigen Oeffnung c d e b H; den Abstand a b der obern Seite bis zu demselben Wasserspiegel A B, h, so daß die Höhe b c der Oeffnung = H — h ist; es sei ferner b die Breite c d = b e derselben Oeffnung, so wird die Quantität des Wassers M, welches t Sekunden ausgeströmt ist ohne die Zusammenziehung des Wasserstrahles bestimmt werden durch die Formel

$$M = 2{,}9528 \cdot t \cdot b \cdot (H\sqrt{H} - h\sqrt{h}) \;.\;.\;. \; (1)$$

In der Zeit von 1 Sekunde strömt nun eine Quantität durch

$$Q = 2{,}9528 \cdot b\,(H\sqrt{H} - h\sqrt{h}) \;.\;.\;. \; (2)$$

diese Quantität durch die Oberfläche der Oeffnung

$= b\ (H - h)$, gibt die mittlere Geschwindigkeit der Ausströmung

$$s = 2{,}9528 \cdot \frac{H \sqrt{H} - h \sqrt{h}}{H - h} \quad \ldots\ldots (3)$$

Wenn die Oeffnung nicht groß ist, wird die Zusammenziehung des Wasserstrahles beinahe in derselben Quantität erfolgen, als ob die Oeffnung im Boden des Gefäßes angebracht wäre; die Angaben des Art. 24 sind dann auch hier anwendbar, so wie man auch ohne beträchtlich zu irren, die Angaben des Art. 24 in dem Falle anwenden kann, daß die Oeffnung durch eine kurze Röhre verlängert, oder in der Form des zusammengezogenen Wasserstrahles ausgerundet ist. Aber wenn die Oeffnung groß ist, bekommt auch diese Quantität einen andern Werth; welches die richtige Quantität der Zusammenziehung in jedem besondern Falle seyn muß, kann nicht auf eine allgemeine Weise mit Genauigkeit angegeben werden, und man muß deshalb in jedem Falle die Erfahrung zu Rathe ziehen, indem man mißt, welche Quantität Wasser in einer gewissen Zeit durch eine bestimmte Oeffnung unter einer bestimmten Wasserhöhe strömt. Mit dieser Quantität kann dann durch die Formel (1) die Breite b der rechtwinkligen Oeffnung berechnet werden, die eine Höhe $= H - h$ besitzt, und in der Zeit t eine Quantität Wasser M durchströmen läßt, ohne daß Zusammenziehung stattfindet. Aus dieser Breite erkennt man die Oberfläche $b\ (H - h)$ der Oeffnung, und wenn man diese mit der wahren Oberfläche vergleicht (oder wenn man b mit der wahren Breite vergleicht), so wird das Verhältniß dieser Zahlen die Quantität der Zusammenziehung ergeben.

Es hat sich blos im Durchschnitt ergeben, daß, wenn die Wasserhöhe über einer großen rechtwinkligen Oeffnung nicht groß ist (z. B. die vier- oder fünffache Höhe dieser Oeffnung beträgt), daß dann die Quantität der Zusammenziehung, oder auch der Inhalt des Durchschnittes des Wasserstromes am Punkte der größten Zusammenziehung beträgt wie folgt (wenn wir nämlich den Inhalt der Oeffnung = 1 setzen):

1) = 0,63 wenn die Wandung dick ist und wenn die Zusammenziehung auf allen vier Seiten erfolgt.

2) = 0,66, wenn die Zusammenziehung nur an drei Seiten stattfindet, während die vierte Seite ausgerundet ist und nach außen vorragt.

3) = 0,68 wenn die Zusammenziehung nur auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten stattfindet.

4) = 0,71 wenn drei Seiten verlängert und ausgerundet sind, so daß nur an einer Seite Zusammenziehung stattfindet.

Für nicht sehr große Oeffnungen hat man gefunden, daß die Zusammenziehung die wahre Ausströmungsöffnung 1 auf 0,694 reducirt, wenn die vier Seiten dieser Oeffnung alle verlängert und an der innern Wandung ausgerundet sind.

Ungeachtet man also die Seiten einer seitenständigen Oeffnung von nicht sehr kleinem Umfang in der Form des zusammengezogenen Wasserstrahles abrundet und ausrundet, besteht dennoch immer eine merkliche Zusammenziehung und dieses muß auch natürlich die Folge seyn von der Richtung der Bewegung, welche die Wassertheilchen anzunehmen genöthigt werden. Diese Richtung muß nämlich von

vertikal horizontal werden, und weil die ausströmenden Wassertheile während der Bewegung immer durch das Gewicht und durch die Zuflüsse der darüber gelegenen Theilchen gedrückt und behindert werden, müssen sie wohl von diesen Richtungen abweichen, so daß der Strahl eine Zusammenziehung erfahren muß.

29) Die oben stehenden Formeln sind entwikkelt und gelten nur in der Voraussetzung, daß die obere Seite der Oeffnung weit genug von der Wasseroberfläche entfernt ist, um nicht zu bewirken, daß sich vor dieser Oeffnung von oben ein Trichter bilde, wodurch das Wasser unmittelbar über der Oeffnung sinkt und eine geringere Höhe hat, als auf irgend einem weiter abgelegenen Punkte der Oberfläche.

Wenn z. B. das Wasser A Fig. 36 aus einer rechtwinkligen Oeffnung fließt, und die Oberfläche des Wassers unter der obern Seite dieser Oeffnung steht, so daß das Ausströmen nur zwischen drei Seiten stattfindet, so wird das Gesetz des Ausfließens ganz anders als in dem Falle des Art. 27. Die Oberfläche des Wassers schrägt sich alsdann nach der Oeffnung hin stets ab und steht bei b tiefer als bei d. Eine Berechnung, verglichen mit Versuchen, macht es sehr wahrscheinlich, daß man das Wasserergebniß in diesem Falle bestimmen müsse, als ob die rechtwinklige Oeffnung geschlossen, d. h. mit vier Seiten unter der Wasseroberfläche liegend wäre, und als ob der Abstand der obern Seite vom Wasserspiegel = 0,2753 des Abstandes der Basis von demselben Wasserspiegel betrüge. Nennt man deshalb H den vertikalen Abstand c a der Basis der Oeffnung vom Wasserspiegel d, so muß $ab = 0{,}2753 \cdot H$ seyn, und setzt man diesen Werth für h in die Formel (1) des Art. 27, so wird sie, um die

Quantität des ausgeflossenen Wassers in der Zeit t zu bestimmen, im Falle die rechtwinklige Oeffnung von der Breite b keine obere Seite über der Wasseroberfläche hat,

$$M = 2{,}9528 \cdot t \cdot b (H \sqrt{H} - 0{,}2753 \cdot H \sqrt{0{,}2753 \cdot H})$$
$$= 2{,}9528 \cdot t \cdot b (H \sqrt{H} - 0{,}1444 \cdot H \sqrt{H})$$
$$= 2{,}9528 \cdot t \cdot b \cdot 0{,}8556 \cdot H \sqrt{H},$$

und $M = 2{,}5261 \cdot t \cdot b \cdot H \sqrt{H} \quad . \; . \; . \; . \quad (4)$

Findet Zusammenziehung statt an den drei Seiten, so muß man von dieser Quantität den 0,737sten Theil nehmen und nur den 0,757sten Theil, wenn die Zusammenziehung allein an den stehenden Seiten stattfindet und die Basis wie in der Figur verlängert und ausgerundet ist, während endlich für eine Ausrundung von allen diesen Seiten die Formel annähernd die wahre Quantität der Ausströmung ergibt; man wird jedoch ein noch genaueres Resultat erlangen, wenn man alsdann davon den 0,94sten Theil nimmt.

30) Nennt man den Halbmesser on Fig. 35 einer kreisförmigen Oeffnung r, und das Verhältniß zwischen dem Abstande om der Wasseroberfläche vom Mittelpunkte o des Kreises, und zwischen dem Strahl = p, so verhält sich

$$om : on = p : 1,$$

so daß om = p mal dem Radius on wird; alsdann findet man die Quantität Wasser, welche in der Zeit t ausgeströmt ist, sehr annähernd durch die Formel

$$M = 13{,}91415 \cdot r^2 \left(1 - \frac{0{,}0625}{p^2} - \frac{0{,}00878906}{p^4}\right) \sqrt{pr} \; . \; . \; . \; (5)$$

Setzt man z. B. die Entfernung o m = dem doppelten Radius = 2 r, so wird p = 2 und die Formel verändert sich dann in

$$M = 13{,}5496 \cdot r^2 \cdot \sqrt{2\,r} \quad . \; . \; . \quad (6).$$

Was die Quantität der Zusammenziehung des Wasserstrahles anlangt, so kann man in den meisten Fällen die Angaben des Art. 24 benutzen, obschon sie für große runde Oeffnungen nicht ganz richtig seyn werden, aber es gibt keine Resultate von Versuchen, welche für diesen Fall speciell angestellt wären. In den mechanischen Anwendungen, z. B. wenn es gilt, die Wasserquantität zu bestimmen, welche aus einem Sammelbassin ausströmt und durch eine Rinne auf ein Wasserrad, hat man auch am allerwenigsten es mit runden Oeffnungen zu thun.

Anmerkung. Für Berechnungen, bei denen es nicht auf äußerst genaue Resultate ankommt, kann man die Formeln des vorhergehenden Paragraphs immer anwenden, indem man alsdann für die Wasserhöhe *h* die Entfernung des Mittelpunktes oder des Schwerpunktes der Oeffnung von der Oberfläche des Wassers nimmt.

31) Wenn das Wasser aus einem Gefäß CFD Fig. 37 strömt, welches durch eine enge Oeffnung E aus einem andern Gefäß ABCE gespeist wird, welches beständig voll bleibt, so ist es nicht schwierig, die Geschwindigkeit und die Quantität des Wassers zu bestimmen, welches durch E und aus F strömt; denn in F hängt die Geschwindigkeit ab von der Höhe DF und in E von der Höhe BC (welche man lebende Höhe nennt, zur Unterscheidung von der eigentlichen Wasserhöhe BE über der Oeffnung E), so daß man aus diesen drückenden Höhen und durch die Formeln des vorhergehenden Paragraphs alles

bestimmen kann, was man hinsichtlich der Ausströmung zu wissen verlangt.

Strömt das Wasser aus der seitenständigen Oeffnung einer Röhre, so ist dabei ein Umstand zu bemerken, welcher in der Folge noch umständlicher erwogen werden soll, nämlich daß der Theil der Wand des Gefäßes, welcher gerade der Ausströmungsöffnung gegenüber liegt, durch das Gewicht des darüber liegenden Wassers gedrückt werden müsse, während die erste Wand, wo die Oeffnung sich befindet, keinen Druck erfährt. Da die zweite Wand also einen größern Druck erfährt, so muß die Röhre bewegt, d. h. aus der vertikalen Richtung gebracht werden, wenn sie z. B. mit einer Schnur an einem festen Punkt aufgehangen ist. Im 5. Theile soll angegeben werden, wie man durch eine solche Ausströmung des Wassers eine mächtige Bewegkraft herzustellen gewußt hat.

§. III.

Ueber die Umstände der Ausströmung des Wassers aus Gefäßen, die leer werden, oder in welchen das Wasser nicht nachgefüllt wird.

32) Wenn ein Gefäß Fig. 31 nicht anhaltend mit soviel Wasser angefüllt wird, als aus demselben unaufhörlich strömt, so muß der Wasserspiegel A B sich jedesmal verändern oder tiefer zu stehen kommen. Die Geschwindigkeit, welche zuerst abhing von der Höhe a c, wird stets von einer kleinern Höhe abhängen und also stets abnehmen. In jedem Stande, den der Wasserspiegel A B einnimmt, findet man jedoch die Ausströmungsgeschwindigkeit auf dieselbe Weise, als ob die Wasserhöhe daselbst unveränderlich bliebe. Das Wichtigste, was man hinsichtlich der Ausströmung des Wassers aus Ge-

fäßen zu wissen braucht, die nach und nach leer werden, ist die Zeit, in welcher die Oberfläche des Wassers bis zu einer bestimmten Grenze fällt, oder auch in wieviel Zeit ein Gefäß sich ausleert, obschon dieses letztere weniger genau sich ausmitteln läßt, als ersteres, wegen der Unregelmäßigkeiten der Bewegung des Wassers, wenn dasselbe bis nahe an die Oeffnung gesunken ist, wo sich ein Trichter bilden muß. Kennt man die Zeit einer bestimmten Ausleerung des Gefäßes, so hat man auch alles bestimmt, was man verlangt; denn die Geschwindigkeit ist in jedem Augenblicke veränderlich und kann immer bestimmt werden durch die Wasserhöhen, welche in diesen Augenblicken stattfinden, während die Quantität des ausgeflossenen Wassers abhängt von der Gestalt des Gefäßes, und gemessen wird durch den körperlichen Inhalt des Raumes, welchen das Wasser vor der Ausströmung im Gefäß einnahm. Die Ausströmungszeit einer bestimmten Quantität Wasser muß deshalb auch von der Gestalt des Gefäßes abhängig seyn, und diese Gestalt kann so seyn, daß die Bestimmung der Ausströmungszeit sehr complicirt wird, so daß man das Verlangte durch wirkliche Versuche leichter finden kann, als durch Berechnung. In jedem Falle muß man die ganze Zeit bestimmen, indem man die kleinen Augenblicke berechnet, in welchen die Oberfläche des Wassers bis zu einer gegebenen sehr geringen Tiefe sinkt, und muß dann alle diese Augenblicke zusammenaddiren.

33) Auf diese Weise kann man finden, daß die Zeit, binnen welcher die Oberfläche A B Fig. 31 einer Quantität Wasser, welches aus der horizontalen Oeffnung c d strömt, bis zu einer gegebenen Tiefe m n sinkt, in der Voraussetzung, daß das Gefäß oder der Sammelbehälter cylindrisch ist, bestimmt werden müsse durch die Formel:

$$d = 0{,}4514 \cdot \frac{o}{O} (\sqrt{H} - \sqrt{h}) \; . \; . \; . \; (1)$$

in welcher Formel t, o, O, H und h folgende Bedeutungen haben, es bezeichnet nämlich t die fragliche Zeit der Ausströmung, o den Inhalt des horizontalen Durchschnittes A B des Gefäßes, O den Inhalt der Oeffnung o d, oder vielmehr den Inhalt des Durchschnittes des zusammengezogenen Wasserstrahles, H die ursprüngliche Höhe B D und h die kleinere Höhe D n, bis zu welcher die Oberfläche des Wassers in der Zeit t gesunken ist.

Die Quantität des ausgeflossenen Wassers ist offenbar dem körperlichen Inhalte A B n m gleich und man findet dieselbe alsdann durch die Formel:

$$M = o \cdot B n = o (H - h) \; . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

Uebrigens erfährt man durch die Formel (1) nicht allein die Ausströmungszeit t, sondern man kann auch durch sie jeden der fünf Punkte t, o, O, H und h berechnen, sobald vier derselben gegeben sind. Weil damit nicht die geringste Schwierigkeit verbunden ist, so ist es nicht nöthig, von diesen Auflösungen besondere Beispiele zu geben.

Um eine ähnliche Berechnung anzustellen für den Fall, daß die Oeffnung in die Wandung gemacht ist, kann man, ohne sonderlich zu irren, annehmen, daß das Ausströmen auf dieselbe Weise geschieht, wie durch eine horizontale Oeffnung, indem man alsdann für die ursprüngliche Wasserhöhe den Abstand des Schwerpunktes der Oeffnung von der Oberfläche des Wassers nimmt, wie dieselbe zu Anfang der Bewegung ist. Dabei muß man jedoch berücksichtigen, daß die Berechnung nur in sofern etwas genau seyn kann, als die Oberfläche nicht

weiter als z. B. bis auf 1 Palm über die obere Seite der Oeffnung sinkt.

34) Wenn A B O und C D G Fig. 38 zwei Gefäße oder Röhren sind, welche mit einander communiciren durch eine kleine Röhre oder Oeffnung O, und wenn das Wasser im ersten Falle beständig in derselben Höhe O P über der Oeffnung erhalten wird (was z. B. stattfindet, wenn die Wasseransammlung A B O sehr groß ist, im Verhältnisse zum Inhalte der Röhre B C), so muß das Wasser aus A B O jedesmal mit einer kleinern Geschwindigkeit in die Röhre C D H G fließen, indem die Geschwindigkeiten den Wasserhöhen (den lebenden Wasserhöhen) proportional sind, und weil diese Höhen gleich sind den Differenzen B G, B E u. s. w. des Wasserspiegels in den beiden Röhren, welche Differenzen immer kleiner werden. Dieser Fall ist also dem ersten vorhergehenden ähnlich, und um die Zeit zu bestimmen, in welcher der Wasserspiegel von G H bis E F steigt, muß man sich wieder der Formel bedienen:

$$t = 0{,}4514 \cdot \frac{o}{O} (\sqrt{H} - \sqrt{h}) \; \ldots \; (3)$$

wenn man nämlich die Höhen B G = H, B E oder C E = h, die Oberfläche des Durchschnittes der Röhre C D H G = o und den Durchschnitt der kleinen Oeffnung O = O nennt. Bei der Berechnung dieser Formel wird jedoch vorausgesetzt, daß zu Anfang des Durchfließens das Wasser in der Röhre C H wenig über der Oeffnung O steht, da alsdann keine Stöße oder schwankende Bewegungen im Wasser O G H mehr stattfinden, und weil das Gesetz des Durchfließens dann von unten nach oben auf dieselbe Weise stattfindet.

Um die Zeit zu bestimmen, in welcher der Wasserspiegel in der Röhre CH gleich geworden seyn wird CD, d. h. dem Wasserspiegel im Gefäße ABO, muß man h = o setzen, und die vorhergehende Formel wird alsdann

$$t = 0{,}4514 \cdot \frac{o}{O} \sqrt{H} \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

in dieser Zeit ist in der Röhre eine Quantität Wasser = CDHG = H · o durchgeflossen; setzt man nun in der Formel (3) des §. I. M = Ho und h = H, so wird die Formel

$$Ho = 4{,}429 \cdot t \cdot O \sqrt{H},$$

woraus folgt

$$H^2 o^2 = (4{,}429)^2 t^2 \cdot O^2 \cdot H;$$

und dividirt man mit H, so bekommt man

$$H o^2 = (4{,}429)^2 t^2 \cdot O^2;$$

und $t = \frac{1}{4{,}429} \cdot \frac{o}{O} \cdot \sqrt{H}$

oder $t = 0{,}2257 \cdot \frac{o}{O} \sqrt{H}$.

Diese Zeit ist gerade die Hälfte der vorhergehenden in der Formel (4); so daß die Zeit, in welcher die Röhre CDHG durch den Wasserspiegel ABCD gefüllt wird, noch einmal soviel beträgt, als die Zeit, in welcher durch dieselbe Oeffnung O aus einem Gefäße, welches bis zur Höhe CG beständig über dieser Oeffnung voll gehalten wird, eine gleiche Quantität Wasser CDHG strömt, als in die Röhre CDHG geflossen ist.

Unter die Categorie dieses Falles kann man auf dieselbe Weise auch bringen die Fälle, in wel-

chen eine Röhre A B E Fig. 37, welche in einer ausgebreiteten Flüssigkeit D F liegt, und ihre Wasserhöhe nicht verändert, durch eine sehr kleine Oeffnung E im Boden oder in der Wandung gefüllt wird in Folge des Druckes der umgebenden Flüssigkeit D F, oder wenn dieselbe Röhre bis A B gefüllt, über dem Wasserspiegel C durch eine kleine Oeffnung die Flüssigkeit ausleert, bis dieselbe auf den Wasserspiegel C herabgesunken ist. Dieses kann man durch die vorhergehenden Formeln jedoch nur annähernd berechnen, wenn die Oeffnung E im Verhältnisse zur Oberfläche des Bodens sehr klein ist, denn das Gesetz der Bewegung der Flüssigkeit wird ganz anders, wenn die Oeffnung E von einer ansehnlichen Größe ist.

Um die Zeit zu berechnen, in welcher ein Gefäß oder ein Sammelbehälter CDHG Fig. 38 durch eine kleine Röhre O, welche mit einem andern bestimmten Wasserbehälter A B O communicirt, gefüllt werden kann, so daß das Wasser in beiden Gefäßen auf gleicher Höhe steht, aber daß dasselbe im Gefäß A B O nicht nachgefüllt wird und also auch unter den Stand A B hinabsinken muß, wird die folgende Formel ein hinlänglich genaues Resultat geben:

$$t = 0{,}4514 \frac{o \cdot o'}{O(o + o')} \cdot \sqrt{(H - h)} \; . \; (5)$$

in welcher Formel o und o' die Inhalte der Durchschnitte beider Gefäße (von denen angenommen wird, daß sie die Form eines Cylinders oder eines rechteckigen Gefäßes besitzen, so daß die Durchschnitte über die ganze Höhe gleich sind) H und h der Wasserhöhen B G und E G bei dem Anfange der Bewegung, und O den Inhalt des Durchschnittes der Oeffnung O vermindert nach dem Verhältnisse der

15 *

Zusammenziehung des Wasserstrahles bezeichnen. Setzt man voraus, daß beim Anfange der Bewegung das Wasser nur eben über der Oeffnung O in GH steht, so wird $h = o$, und wenn dann über dieses die Durchschnitte der Gefäße gleich sind, so wird $o = o'$ und $\frac{o \cdot o'}{o + o'} = \frac{o^2}{2o} = \frac{o}{2}$ seyn; weshalb die Formel für diesen Fall sich folgendermaßen gestaltet

$$t = 0{,}2257 \cdot \frac{o}{O} \cdot \sqrt{H} \;\ldots\ldots\ldots\; (6).$$

Diese Formel ist nun ganz dieselbe, welche wir oben aus der Formel (3) des §. I. unter der Voraussetzung abgeleitet haben, daß die Quantität des durchgeflossenen Wassers $= o \cdot H$ sey; da jedoch diese Quantität hier $= \frac{1}{2}\, O H$ ist, so muß hier auch eben so wie oben die Zeit des Durchfließens doppelt so groß seyn.

35) Die gute Ordnung und die Vollständigkeit der Behandlung erheischen jetzt auch eine Entwickelung des Falles, in welchem die Ausströmung einer Flüssigkeit aus einer engen Oeffnung im Boden oder in der Seitenwandung herbeigeführt wird durch den Druck von Flüssigkeiten verschiedener Schwere oder auch durch den Gesammtdruck einer tropfbaren Flüssigkeit und einer elastischen Flüssigkeit, welche sich bei dem Sinken der tropfbaren Flüssigkeit über deren Oberfläche in einem verschlossenen Gefäß, oder in einem sogenannten Windkessel ausdehnt; jedoch die vorhergehenden Grundsätze enthalten für einen aufmerksamen Leser alles, was zur Entwickelung dieser Fälle erforderlich ist, während da, wo diese Fälle später zur Anwendung kommen, die nöthigen

Regeln hinlänglich noch auseinander gesetzt werden sollen.

Es kommt in der Praxis sehr häufig vor, daß der Druck, in Folge welches die Ausströmung des Wassers aus einem Gefäß oder aus einer Röhre stattfindet, nicht unmittelbar von dem Gewicht einer Wassersäule herrührt, sondern verursacht wird durch den Druck eines Kolbens auf die Oberfläche des Wassers. Den Druck des Wassers auf diese Weise durch denjenigen einer Kraft zu ersetzen, gewährt sehr viele Vortheile (wie wir bereits aus der Erklärung der Wirkung der Wasserpresse im vorhergehenden Kapitel gesehen haben) und eine speciellere Betrachtung dieses Falles würde hier nicht ganz unzweckmäßig seyn; wir übergehen sie jedoch hier, da im 5. Kapitel dieser Abtheilung bei der Betrachtung der Construction und der Wirkung der Pumpen die genannte Entwickelung vorbedächtlich gegeben werden soll.

Endlich dürfen wir auch den Fall nicht übergehen, in welchem das Wasser nicht aus einer kleinen horizontalen Seitenöffnung, oder aus einer kurzen Röhre, welche an diese Oeffnungen gesetzt ist, sondern aus einer sehr engen Oeffnung C Fig. 39 fließt, welche in die Seite oder oben in die Wandung einer vertikalen oder horizontalen Röhre a b gemacht ist, die am Ende b verschlossen ist, und mit einem Sammelbehälter A B a communicirt. Da dieser Fall jedoch von größerem Nutzen ist bei der Betrachtung der Springbrunnen oder Fontainen, als dieses bei der Betrachtung der mechanischen Bewegkräfte in der folgenden Abtheilung der Fall ist, so wird es ausreichend seyn, hierüber nur zu bemerken:

Daß wenn eine Flüssigkeit genöthigt wird, nur durch eine kleine Oeffnung C einer horizontalen

Röhre in einer vertikalen Richtung auszuströmen, dieses mit einer Geschwindigkeit geschehen muß, welche gleich ist derjenigen eines Körpers, welcher frei durch die drückende Wasserhöhe B C herabfällt, so daß das Wasser durch diese Geschwindigkeit gerade bis zur Höhe A B des drückenden Wassers in die Höhe springen kann, wenn keine Hindernisse vorhanden sind. Solche Hindernisse kann es jedoch geben, nämlich den Widerstand der Luft, durch welchen das Wasser bewegt werden muß; die Reibung des Wassers am Umfange der Oeffnung, oder an der Wandung eines angesetzten Hahnes; das Ankleben der Wassertheilchen und die Ausbreitung des Wasserstrahles bei D; endlich das Gewicht und der Rost des fallenden Wassers gegen oder auf den springenden Wasserstrahl. Diese Widerstände bewirken, daß das Wasser häufig nur bis zu $\frac{5}{8}$ der drückenden Wasserhöhe emporspringen kann, und daß eine um so größere Differenz besteht, je größer die drükkende Wasserhöhe ist. Nur den letzten Widerstand kann man zum Theil dadurch beseitigen, daß man dem Wassersprung eine schräge Richtung gibt, so daß der Wasserfall dann ein geringes Anstoßen gegen den steigenden Strahl verursacht; auf diese Weise wird die Höhe des Sprunges einigermaßen vermehrt.

§. IV.

Ueber die Bewegung des Wassers in Leitungsröhren.

36) Wenn das Wasser aus einem Sammelbehälter, in welchem es bis zu einer gewissen Höhe A B steht, nach einem gewissen Ort durch eine cylindrische Röhre a b G Fig. 39 geleitet werden muß, welche aus dem Sammelbehälter in einer horizontalen oder geneigten Richtung nach dem erwähnten

Orte läuft, so wird eine solche Röhre eine **Leitungsröhre** genannt.

Angenommen, daß die Röhre horizontal oder waagerecht fortlaufe, so wird die Geschwindigkeit des Wassers an und für sich betrachtet, in der Röhre proportional seyn der Quadratwurzel aus der drükkenden Wasserhöhe E B (hierbei ist zu gleicher Zeit vorausgesetzt, daß der Durchschnitt der Röhre im Verhältnisse der Oberfläche A B klein sey, und daß der Wasserspiegel A B sich nicht verändere), und mit dieser Geschwindigkeit wird das Wasser aus der Röhre bei G ausströmen (Art. 21.). Es gibt jedoch einen hauptsächlichen Widerstand, welcher diese freie Bewegung des Wassers verhindert, nämlich den Widerstand der Reibung des Wassers an der Wand der Röhre. Dieser Widerstand kann beträchtlich seyn; er hängt natürlich ab von der Weite der Röhre und von ihrer Länge; denn mit der Weite und mit der Länge nimmt die Größe der Oberfläche, an welcher sich das Wasser reibt, zu oder ab. Je länger die Röhre ist, desto mehr wird die Geschwindigkeit abnehmen, wie sie auch mit der Verminderung der Weite der Röhre abnimmt, so daß, wie sich aus vielen Versuchen ergeben hat, die **Geschwindigkeiten in denselben Verhältnissen abnehmen, als die Quadratwurzeln aus dem Durchmesser und umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Längen der Röhren.** Nennt man nun die mittlere Ausströmungsgeschwindigkeit S (besonders die mittlere, weil sie auf allen Punkten des Durchschnittes der Mündung G der Röhre nicht dieselbe seyn kann) den Durchmesser der Röhre D, ihre Länge L und die mittlere Höhe B E des Wassers im Sammelbehälter H, so wird S proportional seyn:

$$(\sqrt{H}) \times \sqrt{\frac{D}{L}},$$

deshalb wird

$S = \sqrt{\frac{HD}{L}} \times$ einer gewissen unveränderlichen Zahl seyn.

Diese unveränderliche Zahl läßt sich für die meisten Berechnungen nach angestellten Versuchen $= 26{,}79$ setzen, wodurch alsdann

$$S = 26{,}79 \sqrt{\frac{DH}{L}} \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

werden wird; ein genaueres Resultat bekommt man jedoch durch Berechnung der Formel

$$S = \sqrt{\left(0{,}000619159 + 717{,}857 \cdot \frac{D \cdot H}{L}\right)} - 0{,}0248829 \ldots (2).$$

Bei der Anwendung dieser Formeln wird stillschweigend vorausgesetzt, daß die Röhren ganz und gar mit Wasser gefüllt sind, und wenn sie irgendwo gebogen seyn sollten, keine Luft in den Biegungen enthalten; auch wird die Geschwindigkeit nicht gerechnet für den ersten Augenblick des Ausströmens, sondern erst für die 5. oder 6. Secunde nach diesem Augenblick, wenn die Bewegung des Wassers gleichmäßig geworden ist. In dieser Voraussetzung und da man sich auf die Genauigkeit der angestellten Versuche in jeder Hinsicht verlassen kann, wird das Resultat der Berechnung im ungünstigsten Falle nur um $\frac{1}{25}$ von der Wahrheit abweichen können, d. h. man wird durch die Berechnung der oben stehenden Formeln ein Zuviel oder ein Zuwenig von höchstens $\frac{1}{25}$, häufig eine noch viel geringere und manchmal gar keine Differenz bekommen. Es wäre zu wünschen, daß man die Genauigkeit der Rechnung

weiter bringen könnte, jedoch ist hierzu unsere Kenntniß des wahren Maßes der Nebenumstände, welche die Bewegung des Wassers fördern und hindern können, zu unvollkommen, so wie es auch nicht an der Sorgfalt und an der geringern Mannichfaltigkeit der angestellten Versuche liegt, daß ihre Resultate manchmal von der Wahrheit abweichen müssen, als vielmehr an der unvollkommenen Verbindung der Röhren oder Rinnen, an den größeren oder geringeren Unebenheiten ihrer Wandungen u. s. w.

Obschon man für Durchschnittsberechnungen unbedenklich die gegebenen Formeln benutzen kann, so kann es sich doch ereignen, daß sie für eine große Ausströmungszeit ein beträchtliches Zuviel oder Zuwenig geben, aber dieses ist bei allen dergleichen auf Erfahrung gegründeten Formeln der Fall, aus welchem Grunde man jedoch sich nicht abhalten lassen darf, dieselben anzuwenden; denn wenn nur die Versuche genau angestellt sind, so ist ein mittlerer Durchschnitt schon für die Praxis ausreichend, ja häufig ist dieses das Höchste, was man erwarten darf, weil auch die langwierigsten Erfahrungen — und hierauf muß der größte Theil der praktischen Formeln gegründet seyn — selten mehr als mittlere Resultate liefern können.

Wenn z. B. um das oben Gesagte zu unterstützen, der Durchschnitt der Röhre bei G ein Quadratpalm groß wäre; und das Wasser mit einer Geschwindigkeit von 0,5 Palmen während 1 Stunde ausströmte, so würde das Resultat in dieser Zeit (und ohne die Quantität der Zusammenziehung des Wasserstrahles in Berechnung zu bringen) 18 Kubikellen betragen; wäre nun die berechnete Geschwindigkeit von 5 Palmen um $\frac{1}{25}$ zu klein oder zu groß, z. B. um $\frac{1}{25}$ zu groß, so würden nur reichlich $17\frac{1}{2}$

Kubikelle ausfließen, und dieses würde dann eine merkliche Differenz geben.

Verlangt man nun eine größere Genauigkeit oder ein sicheres Resultat, so muß man das Ergebniß des in einer bestimmten Zeit ausgeflossenen Wassers genau messen, und es mit dem Inhalte der Oeffnung der Ausströmung, und durch die Anzahl Secunden, während welcher die Ausströmung stattgefunden hat, dividiren, so wird der Quotient die Ausströmungsgeschwindigkeit ausdrücken. Diese Geschwindigkeit kann jedoch noch immer nur eine mittlere seyn.

Um die gegebenen Formeln durch ein Beispiel zu erläutern, so nehme man z. B. die Wasserhöhe AB über dem Mittelpunkte der Röhre = 2 Ellen, die Länge der Röhre = 10 Ellen, und ihren Durchmesser = 12 Zoll = 0,12 Ellen, so wird nach der ersten Formel

$$S = 26{,}79 \sqrt{\frac{0{,}12 \cdot 2}{10}} = 26{,}79 \sqrt{0{,}024}$$
$$= 26{,}79 \times 0{,}1542 = 4{,}131 \text{ Ellen.}$$

Nach der zweiten Formel findet man

$$S = \sqrt{(0{,}000619159 + 717{,}857 \cdot 0{,}024)} - 0{,}0248829$$
$$= \sqrt{(0{,}000619159 + 17{,}228568)} - 0{,}0248829$$
$$= \sqrt{(17{,}229187159)} - 0{,}0248829$$
$$= 4{,}150805 - 0{,}0248829 = 4{,}1259221.$$

Die erste Formel gibt deshalb in diesem Fall ein Zuviel von beinahe 5 Zollen. Wäre kein Widerstand der Reibung vorhanden, so müßte die Geschwindigkeit der Ausströmung (siehe Artikel 21) gleich seyn

$S = 4{,}429 \sqrt{2} = 4{,}429 \times 1{,}4142 = 6{,}2635$ Ellen, und da diese Zahl Ellen 2,1376 mehr beträgt, als

das Resultat der vorhergehenden Berechnung, so ergibt sich hieraus die beträchtliche Verzögerung der Bewegung des Wassers, welche durch den Widerstand der Reibung herbeigeführt wird. In Folge dieser Verzögerung würde die Geschwindigkeit noch recht gut um ⅝ geringer seyn, wenn die Röhre eine Länge von 100 Ellen hätte u. s. w. Durch die Entfernung, bis zu welcher das Wasser geleitet werden muß, ist die Länge der Röhre meistentheils bestimmt; weniger ist man hinsichtlich der Weite der Röhre beschränkt, und indem man diese alsdann weiter macht, kann ein Zuwenig an Geschwindigkeit auf ein bestimmtes Resultat von keinem Einflusse seyn. Dieses alles kann durch dieselben Formeln (1) und (2) berechnet werden, denn sie werden immer für einen der vier Punkte S, D, H und L einen Werth ergeben, sobald drei dieser Punkte bekannt sind.

37) Wenn die Röhre eine geneigte Lage besitzt, und kein Widerstand der Reibung bestände, so würde das Wasser, während es die Röhre durchströmt, einigermaßen den Gesetzen der Bewegung eines Körpers auf einer schiefen Ebene unterliegen, wenigstens würde diese Bewegung eine beschleunigte seyn. Wenn nun das Wasser durch eine geneigte Röhre läuft, so fließt es mit größerer Geschwindigkeie aus, als der Fall seyn würde, wenn die Richtung der Röhre waagerecht wäre. Auf diese Weise wird alsdann dasselbe bewirkt, als wenn die drückende Wasserhöhe vergrößert würde.

Indem man nun einer Röhre eine geneigte Lage gibt, kann man die größere Geschwindigkeit des Wassers benutzen, um den Widerstand der Reibung u. s. w. zu überwinden, damit letztere auf die Quantität des ausfließenden Wassers keinen Einfluß habe. In diesem Betreff lehrt nun die Erfahrung,

daß, wenn man einer Leitungsröhre eine Neigung gibt von 1 auf 9, die Ausströmung beinahe von Statten gehen müsse, als ob kein Widerstand der Reibung bestände. In diesem Falle wird die Geschwindigkeit der Ausströmung auf dieselbe Weise bestimmt, als ob sie wirklich aus einer engen Oeffnung erfolgte, welche in die Wandung eines Sammelbehälters gemacht ist (siehe ferner den folgenden §.)

In den gebogenen Leitungsröhren wird das Wasserergebniß, d. h. die Geschwindigkeit der Ausströmung noch vermindert durch die Zahl der Biegungen, da das Wasser, welches durch die Wandungen der gebogenen Stellen genöthigt wird, die Richtung der Bewegung zu verändern, durch das Anstoßen an die Wände in seiner Bewegung gehindert wird, und also weniger schnell fließt, als in einer geradlinigen Röhre. Letztere haben deshalb einen sehr großen Vorzug vor ersteren; muß man jedoch wegen der gebogenen Richtung der Bewegung, welche das Wasser muß verfolgen können, unvermeidlich eine gebogene Röhre anwenden, so sorge man nur, daß die Veränderungen in der Richtung der Bewegung unmerklich und nicht plötzlich eintreten. Die Kniee verbundener und verschieden gerichteter Leitungsröhren dürfen deshalb auch niemals winklig seyn, wie groß A B C Fig. 40 Nr. 1, sondern sie müssen rund seyn, wie a b c Fig. 40 Nr. 2, und es muß die Krümmung a b c (welche in der Praxis nur kreisförmig genommen werden darf) klein, d. h. an Extension von a bis c so groß wie möglich genommen werden, damit der zurückzulegende Weg sowohl der kürzeste sey, als auch die Veränderungen der Richtung der Bewegung ganz unmerklich erfolge.

Wenn Wasser durch eine Röhre fließt, übt es, wegen der Geschwindigkeit der Bewegung gegen die Wandungen der Röhre einen geringern Druck aus, als wenn die Röhre bei G Fig. 39 geschlossen ist und das Wasser in derselben still steht. Durch eine Oeffnung m, welche irgendwo in der Röhre angebracht ist, wird alsdann das Wasser nicht so hoch emporspringen, während es durch die Röhre fließt, als dieses der Fall seyn würde, wenn es stillsteht. Diese Verminderung des Druckes nimmt mit der Geschwindigkeit zu, dergestalt, daß wenn die Geschwindigkeit der Bewegung gerade gleich würde der Geschwindigkeit der Ausströmung aus einer engen Oeffnung in der Wand des Sammelbehälters kein Druck des Wassers gegen die innere Wand der Röhre stattfinden würde; es würde dann aus einer Oeffnung m gar kein Wasser emporspringen können; ja es würde sogar durch diese Oeffnung eine Aufsaugung der Luft von außen nach innen stattfinden können, wenn die genannte Geschwindigkeit in Folge irgend einer Ursache größer würde als diejenige, die sich aus der wirklich drückenden Wasserhöhe ergeben muß. Dieses alles gilt jedoch nur in der Voraussetzung, daß das Wasser geradlinig aus der Mündung G der Röhre fließe; denn wenn diese Mündung mit einer Platte bedeckt wäre, die nur eine enge Oeffnung in der Mitte hat, so würde dadurch die Geschwindigkeit der Bewegung behindert werden und immer kleiner seyn, als die Geschwindigkeit, welche der drückenden Wasserhöhe proportional ist, so daß alsdann auch immer ein positiver Druck gegen die Wandung der Röhre ausgeübt werden muß.

Man glaube nicht, daß die eben genannte Verminderung im Seitendruck immer gestattet, Röhren von geringerer Dicke zu nehmen, als in dem Falle, wo sie den vollen Druck des stillstehenden Wassers

aushalten müssen; denn die vielerlei Umstände, in welchen eine Leitungsröhre sich befinden kann, machen es auch meistentheils rathsam, oder führen häufig die Nothwendigkeit herbei, auf diese Verminderung des Druckes gar nicht zu achten, und die Dicke der Röhren dann zu bestimmen, als ob der volle Druck immer stattfände. Im V. Kapitel dieser Abtheilung wird man einige Vorschriften und Regeln angegeben finden, um die Dicke der Röhren, welche von Luft oder von Wasser Druck erfahren, zu bestimmen.

Die Bewegung des Wassers in Leitungsröhren kann auf vielerlei Weise und unter verschiedenen Umständen stattfinden, und dieses kann zu Betrachtungen von einem großen Nutzen in der Kunst, den Lauf des Wassers zu regeln und zu leiten, Veranlassung geben; jedoch von diesem allen kann hier nicht einmal specielle Erwähnung geschehen, weil blos die Grundsätze einen Platz in diesem Lehrbuche finden können, welche zum Verständniß der noch vorzutragenden Gegenstände, und zu Richtschnuren, die man bei der gehörigen Construction der Maschinen zu befolgen hat, unvermeidlich erforderlich sind.

§. V.

Ueber die Bewegung des Wassers in Rinnen, Canälen oder auch in Bassins, deren Boden und Wände, oder deren Bette und Ufer beinahe eine unveränderliche Gestalt haben.

38) Es gibt keinen Punkt in der Wissenschaft der Bewegung des Wassers, welcher den Hydraulikern größere Mühe verursacht und sie zu speciellern Untersuchungen über seine Eigenthümlichkeit und sein Verhalten veranlaßt hätte, als die Kenntniß der eigentlichen Gesetze der Bewegung des Wassers

in gemauerten oder in gegrabenen Canälen, in natürlichen Bassins, oder in schnell strömenden Flüssen, und vielleicht gelingt es niemals, diese Gesetze mit Genauigkeit zu entdecken, so daß sie in den meisten Fällen mit Nutzen angewendet werden können. Besonders ist dieses zu verstehen hinsichtlich der Bewegung des Wassers des Bassins und der natürlichen Flüsse, weil die unregelmäßigen Formen ihrer Betten und die geneigten Ufer u. s. w., oder weil die verschiedenen Abweichungen der Richtung des Wasserlaufes u. s. w. sehr viele Umstände darbieten, welche den regelmäßigen Lauf stören, und welche meistentheils verhindern, daß die mittleren Resultate von Berechnungen oder von Versuchen auf keine allgemeine Weise angewendet werden können.

Kleinere Unregelmäßigkeiten walten im Laufe des Wassers in Rinnen oder Canälen ob, die auf eine in jeder Hinsicht regelmäßige Weise angelegt und ausgeführt sind, und von welchen man die Ueberzeugung haben kann, daß die Boden und die Seitenwände, oder die Betten und die abgeböschten Ufer durch die Reibung der Wassertheilchen, oder durch andere Ursachen keine merklichen Veränderungen in Form und Dimension erfahren, wenn dergleichen Werke sorgfältig unterhalten werden. In solchen Fällen kann man von den Ergebnissen einer großen Reihe von Versuchen in der Praxis mit einigem Nutzen und Zuverlässigkeit Gebrauch machen.

Besonders bei der Anwendung der Wasserräder muß man in den praktischen Fällen der Mechanik wissen, welches die mittlere Geschwindigkeit des strömenden Wassers ist, welches die genannten Räderwerke in Bewegung setzt, um mittelst dieser Kenntniß das Kraftvermögen dieser Werkzeuge erforschen, oder im voraus bestimmen zu können. Was deshalb dazu erforderlich ist, soll für die Praxis und

nur in sofern es für diese Praxis nöthig ist hier niedergelegt werden, und dieses beschränkt sich nun allein auf die Angabe der Grundsätze und Regeln, durch welche man in jedem Falle die Geschwindigkeit des strömenden Wassers in Rinnen, Bassins, Canälen, und für einzelne Fälle in Flüssen bestimmen kann, ohne daß hier etwas über die Eigenthümlichkeiten dieser Bewegung, oder über die Construction der Rinnen, Canäle u. s. w. abgehandelt wird, oder abgehandelt werden kann.

39) Die Bewegung des Wassers in Canälen, Bassins u. s. w. findet statt wegen der Neigung des Bodens oder der Betten, über welche das Wasser läuft. Gäbe es keinen Widerstand der Reibung, oder der Friction der Wassertheile an einander und am Boden, so würde diese Flüssigkeit gleich als ob sie einer schiefen Fläche hinabfalle, eine beschleunigte Bewegung annehmen; aber in Folge des bestehenden Widerstandes wird dieser Beschleunigung entgegengewirkt und die Bewegung des Wassers wird sehr bald regelmäßig. Ferner angenommen, daß das Wasser sich bis zu einer gewissen Höhe über dem Boden erhebt, d. h. eine gewisse Tiefe besitzt, so können alle Wasserschichten über der ganzen Tiefe nicht dieselbe Geschwindigkeit haben, sondern letztere muß in verschiedenen Tiefen oder Entfernungen vom Boden verschieden seyn.

Wenn die Bewegung des Wassers demselben Gesetz unterläge, welchem die Bewegung eines festen Körpers unterworfen ist, oder wenn die Friction der Wassertheile sowohl gegenseitig an einander, als am Boden und an den Wandungen des Canalbettes nicht bestände, so würden die untersten Wasserschichten mit größerer Geschwindigkeit abfließen müssen, als die höher gelegenen, weil in größerer Tiefe der Seitendruck gegen die Wassertheile größer

ist, wodurch alsdann die Geschwindigkeit der Strömung, welche von diesem Druck abhängt, auch größer seyn muß. Aber dieses Gesetz wird durch den Widerstand der Bodens und der Wände, durch die Reibung der Wassertheile u. s. w. ganz und gar vernichtet, so daß die größte Geschwindigkeit gemeiniglich nicht sehr weit von der Oberfläche des Wassers angetroffen wird, und am Boden meistentheils kleiner ist, als an irgend einem andern Punkte der Tiefe; man kann jedoch immer annehmen, daß, um je tiefer das Wasser ist, auch um desto größer die größte Geschwindigkeit seyn müsse, in welcher Entfernung vom Boden dieselbe übrigens stattfinden möge. Deshalb werden auch die Strömungsgeschwindigkeiten des Wassers in einem Canal oder in einem Fluß am größten seyn, in der Mitte des Durchschnittes nach der Breite genommen, und werden von hier nach dem Ufer hin allmählig abnehmen, weil die Form des Durchschnittes eines Flusses, oder lieber eines regelmäßig angelegten Canales gemeiniglich ein gleichseitiges Trapezium, oder ein Kreissegment ist, und deshalb die Tiefen von den Ufern gegen die Mitte hin allmählig zunehmen, wobei übrigens die Geschwindigkeit an den Ufern noch vermindert wird durch die Friction des Wassers an diesen Ufern, wie dieses auch stattzufinden pflegt in gemauerten Rinnen, deren Durchschnitt rechtwinklig ist, und bei welchen die Tiefe über die ganze Breite der Rinne dieselbe ist, aber in welcher dennoch die Geschwindigkeit an den Wandungen kleiner ist, als in der Mitte.

Die Geschwindigkeit der Strömung ist nun in einem Flusse, in einem Canale u. s. w. auf jedem Punkte des Durchschnittes, oder auf jedem Punkte, der in einer verschiedenen Breite oder Tiefe liegt, verschieden. Zwischen allen diesen verschiedenen Ge-

schwindigkeiten läßt sich eine mittlere Geschwindigkeit denken, von solcher Beschaffenheit, daß, wenn alle Wassertheile mit dieser Geschwindigkeit strömten, durch die Oeffnung oder den Durchschnitt des Canales u. s. w. in derselben Zeit dieselbe Quantität Wasser durchströmen würde, als es wirklich bei den verschiedenen vorhandenen Geschwindigkeiten der Fall ist.

Mit dieser Geschwindigkeit hat man es in allen Fällen der Praxis allein zu thun, und zur Bestimmung derselben sollen nun einige Formeln angegeben werden. Diese Formeln können jedoch auf Rinnen und eng gegrabene Canäle und Becken, deren Boden, Bette und Ufer eine möglichst gleiche Oberfläche haben und nicht mit Steinen, Wasserpflanzen u. s. w. bedeckt sind, eher angewendet werden, als auf große und schnellströmende Flüsse; jedoch die Bestimmung der mittlern Geschwindigkeit dieser letzten wird für gegenwärtigen Zweck auch nicht erfordert.

Nennt man die mittlere Geschwindigkeit s und die wahre Geschwindigkeit an der Oberfläche in der Mitte der Breite, wo sie folglich am größten ist, S, so hat man die folgenden Formeln

$$s = S \cdot \frac{S + 2{,}73187}{S + 3{,}1532} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

oder was meistens auf dasselbe hinausläuft,

$$s = 0{,}816458 \cdot S = \text{beinahe } \tfrac{4}{5} \cdot S \ldots (2).$$

Die Geschwindigkeit der Strömung am Boden oder im Flußbette wird ziemlich nahe seyn

$$= 2s - S = 1{,}632916\ S - S = 0{,}632916 \cdot S = \tfrac{19}{30}\ S \ldots\ldots\ldots\ldots (3).$$

Diese Formeln sind sehr einfach, um bei einer Kenntniß der Geschwindigkeit des Wassers in der

Mitte der Oberfläche sogleich auf die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des ganzen Durchschnittes schließen zu können. Sie sind nicht allein anwendbar auf die Bewegung des Wassers in Rinnen oder in engen Canälen und Bassins, sondern man kann dieselben sogar benutzen, um die mittleren Geschwindigkeiten von Flüssen für den ganzen Durchschnitt, oder nur für Theile desselben genommen, zu bestimmen, sobald man nur die Geschwindigkeit an der Oberfläche da beobachtet, wo die Strömung am größten ist.

Die Geschwindigkeit an der Oberfläche kann auf verschiedene Arten beobachtet werden; für die praktischen Fälle in der Mechanik ist es schon ausreichend, sich eines schwimmenden Körpers z. B. einiger kleinen hölzernen linsenförmigen Kugeln zu bedienen; denn wenn diese auf die Oberfläche des Wassers gegeben sind, so werden sie ziemlich in gleichem Schritte mit dem Strome sich fortbewegen; sie werden auch der Richtung des Stromes genau folgen, jedoch um genau zu beobachten, muß man den schwimmenden Körper nicht an einem gekrümmten Theile, sondern an einem geradlinigen Theile des Stromes anwenden. Man messe vorher an den Ufern des Canales eine mäßige Länge genau ab und bestimme die Zeit, welche vergeht von dem Augenblick, wo der schwimmende Körper am Anfange der gemessenen Länge wahrgenommen, bis dahin, wo er das Ende dieser Länge erreicht hat. Wird dieser Versuch einigemal wiederholt und die Summe der beobachteten Zeiten mit der Zahl der Beobachtungen dividirt, so bekommt man die mittlere Zeit, in welcher der schwimmende Körper den gemessenen Weg durchläuft, während man dadurch bestimmen kann, welchen Weg der schwimmende Körper in 1 Sekunde durchläuft, und dieses gibt

dann die Geschwindigkeit an der Oberfläche in dem Theile der Strömung, in welchem der Schwimmer beobachtet wurde, und wo vorausgesetzt wird, daß sie am stärksten sey.

Die mittlere Geschwindigkeit des Wassers, welches in einer geneigten Rinne, in einem Bassin, oder in einem Canale fließt, wird auch gefunden durch eine Berechnung, welche unabhängig ist von der Beobachtung der Geschwindigkeit an der Oberfläche, aber bedingt wird durch die Neigung und durch die Dimensionen des Canales, des Baches u. s. w.; denn es leuchtet von selbst ein, daß sich die Geschwindigkeit verändern muß, wenn das Bette, in welchem das Wasser läuft, eine andere Neigung hat, und wenn die Tiefe und Breite des Wassers anders sind. Man nenne die verlangte mittlere Geschwindigkeit s den Inhalt des Wasserprofiles I, die Länge des Umfanges des Durchschnittes, des Wasserbettes B, und die Neigung des Bettes auf die Länge 1 Elle P, so wird die mittlere Geschwindigkeit bestimmt werden durch die Formel

$$s = \sqrt{\left\{0{,}005 + 3233 \cdot P \cdot \frac{I}{B}\right\}} - 0{,}07 \quad (4)$$

und wenn man für gewöhnliche Berechnungen die Zahl 0,005 unberücksichtigt lassen will, so hat man

$$s = 56{,}8595 \sqrt{\left\{\frac{P\,I}{B}\right\}} - 0{,}07 \; \ldots\ldots \; (5)$$

und diese Formel zeigt an, auf welche einfache Weise die mittlere Strömungsgeschwindigkeit von der Neigung des Bettes und von den Dimensionen des Canal=, des Bachdurchschnittes u. s. w. abhängt.

Wenn das Wasser durch eine Rinne läuft, so werden die Formeln (4) und (5) die Geschwindig=

keiten anzeigen, mit denen das Wasser aus der Mündung der Rinne strömt, sobald man sie da nimmt, wenn die Durchschnitte sich nicht überall gleich sind, wo die Ausströmung stattfindet. Die Formel Nr. (2) im vorhergehenden §., welche wir für den Zweck mitgetheilt haben, um die mittlere Geschwindigkeit des Wassers zu bestimmen, welches in einer horizontalen Röhre geleitet wird, ist auch anwendbar auf den Fall, in welchem die Röhre geneigt ist, unter der Bedingung, daß man für die Wasserhöhe alsdann die vertikale Entfernung der Ausströmungsöffnung g Fig. 89 von der Oberfläche A B des drückenden Wassers nimmt. Steht diese Oberfläche nur bis c d gerade über der Oeffnung E der Röhre, so wird die Größe H in der Formel (2) des §. III. $= gh$, da sie sonst $= gh + EB$ wird. Man kann die Formel noch anders darstellen, so daß H dieselbe Bedeutung behält, aber alsdann muß in der Formel auch vorkommen die Neigung der Röhre auf 1 Elle Länge, und die horizontale Länge E h; man nenne nun den Durchmesser der Röhre $= D$; die Wasserhöhe E B über dem Anfange der Röhre $= H$; die Neigung der Röhre auf die Länge einer Elle $Eh = l$; und die wirkliche Länge der Röhre $EG = L$, so wird die Formel

$$s = \sqrt{\left\{0{,}000619159 + 717{,}857 \cdot \frac{D \cdot (H + lP)}{L}\right\}}$$
$$- 0{,}0248329 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

es müssen nämlich alle Maße in Ellen ausgedrückt seyn.

Für Berechnungen, bei welchen es nicht auf Genauigkeit und Schärfe ankommt, bediene man sich der Formel

$$s = 26{,}79 \sqrt{\left\{\frac{D\,(H + I\,P)}{L}\right\}} \;\ldots\ldots\; (7)$$

die sich verändert in

$$s = 26{,}79 \sqrt{\frac{I \cdot D\,P}{L}} \;\ldots\ldots\ldots\ldots\; (8)$$

wenn die Wasserhöhe H über der Oeffnung E der Röhre sehr klein oder beinahe Null wird.

40) Um diese Formeln anwenden zu können, muß man durch wirkliches Messen die Neigung, den Abhang oder das Gefäll P, den Umfang des Bodens B und den Inhalt des Canaldurchschnittes bestimmen. Die Neigung oder das Gefäll P muß durch ein sogenanntes Nivellement oder Wasserwägen gefunden werden. Die Figur des Durchschnittes findet man durch Messung der Breite A B des Wasserspiegels im Canal, und indem man auf bestimmte Entfernungen A a, a b, b c u. s. w. Fig. 41 die entsprechenden Tiefen a e, b f, c g u. s. w. ebenfalls mißt. Auf diese Weise wird man die Figur des Bettes, oder lieber den Durchschnitt A e f g h B genauer finden, je nachdem die Tiefe auf kleinere Entfernungen a b, b c u. s. w. gemessen worden ist; und wenn diese Figur so bestimmt und mit einem Maßstabe gemessen worden ist, so muß man nach den Regeln der Meßkunst den Inhalt A a b c d B h g f e zu bestimmen streben; dieser Inhalt ist = I; und die Länge B des Bodenumfanges A e f g h B muß durch wirkliches Messen mit einer kleinen Oeffnung des Zirkels gefunden werden. Dieses alles wird sehr leicht, wenn der Durchschnitt eine regelmäßige Gestalt hat, z. B. die Form eines Trapezium, oder eines Kreissegmentes, oder wenn der Canal aus einer gemauerten, oder gezimmerten Rinne besteht, welche einen rechtwinkligen Durchschnitt hat.

Ist die Durchschnittsfigur des Bettes einigermaßen unregelmäßig, so daß man viele Tiefenmessungen anstellen muß, um das Profil so genau wie möglich zu bekommen, so muß man sich niemals mit einem einzigen Profile begnügen, sondern man strebe alsdann aus vielen Profilen, die in bestimmten Entfernungen von einander genommen sind, ein genaues mittleres Profil zu erhalten.

Wenn der Durchschnitt eines Canales ein Trapezium A C D B Fig. 42 ist, die Breite A B = 4 Ellen, der Boden C D = 1,5 Ellen, und die Tiefe 1 Elle beträgt, so ist der Inhalt I = 2,75 Quadratellen; der Umfang A C D B = A C + B D + C D = 2 A C + C D + 2 $\sqrt{(A a^2 + a C^2)}$ + C D = 1,5 + 2 $\sqrt{(1,25^2 + 1^2)}$ = 1,5 + 2 $\sqrt{2,5625}$ = 1,5 + 3,20156 = 4,70156 = B. Wenn ferner die Neigung 1 auf 2000 beträgt, so ist diese ganze Neigung auf 1 Elle oder P = 1 : 2000 = 0,0005. Bringt man nun diese Zahlen in die Formel (4), so gestaltet sich dieselbe folgendermaßen

$$s = \sqrt{\left\{0,005 + 3233 \cdot 0,0005 \cdot \frac{2,75}{4,70156}\right\}} - 0,07$$
$$= \sqrt{(0,005 + 0,945510)} - 0,07$$
$$= \sqrt{(0,95051)} - 0,07$$
$$= 0,975 - 0,07 = 0,905.$$

Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit beträgt deshalb etwas mehr als 9 Palmen in der Secunde bei einem Gefäll von $\frac{1}{2000}$ auf die laufende Elle. Selten gibt man einem Canal ein größeres Gefäll, als zwischen $\frac{1}{1000}$ und $\frac{1}{2000}$ auf die laufende Elle; die Strömungsgeschwindigkeiten betragen dann gemeiniglich 1,5 und 1 Elle in der Secunde. Sehr große Geschwindigkeiten würden eine merkliche Veränderung des Bettes eines gegrabenen Canales zur

Folge haben können, und sehr kleine Geschwindigkeiten vermindern (wegen des Durchsickerns u. s. w.), das Ergebniß enger und seichter Canäle. Letzteres ist jedoch auf große Flüsse nicht anwendbar, welche oft nur ein Gefäll von 1 auf 8000 haben. Auf enge gemauerte Rinnen wende man das oben Gesagte eben so wenig an; die Neigung derselben kann nach den besondern Zwecken bestimmt werden, ohne daß man durch andere Umstände auf gewisse Grenzen beschränkt wird.

Um von der Formel (6) eine Anwendung zu geben, wollen wir uns eine Leitungsröhre E g Fig. 39 denken, welche bei einer Neigung von 1 auf 9 eine Länge von 10 Ellen und einen Durchmesser von 0,12 Ellen hat. Diese Röhre hat also dieselben Dimensionen und dasselbe Gefäll, wie diejenige, von welcher in Art. 36 und 37 die Rede war, und in welcher das Wasser unter einer Druckhöhe von 2 Ellen beinahe dieselbe Geschwindigkeit von 6,2635" haben muß, als wenn es durch die horizontale Röhre E G strömte, ohne einen Widerstand der Reibung zu erfahren.

Setzt man nun in der Formel (6) $D = 0{,}12$. $H = 2$, $P = \frac{1}{9}$, $L = 10$ und $l = Eh = \sqrt{(Eg^2 - hg^2)}$ = (was man leicht durch Berechnung findet, und was in der Praxis durch wirkliche Messung gefunden werden kann) 9,93807, so wird diese Formel

$$s = \sqrt{\left\{0{,}000619159 + 717{,}857 \cdot \frac{0{,}12\ (2 + \frac{1}{9} \cdot 9{,}93807)}{10}\right\}} - 0{,}0248829$$

$$= \sqrt{(0{,}000619159 + 26{,}741608964)} - 0{,}0248829$$
$$= \sqrt{(26{,}742228123)} - 0{,}0248829$$
$$= 5{,}17032 - 0{,}0248829 = 5{,}1454371 \text{ Ell. in der } 1''.$$

Zwischen dieser berechneten Geschwindigkeit und der größten Geschwindigkeit 6,2635 besteht deshalb noch eine Differenz von reichlich 1 Elle, aber die Formel gibt auch nur eine mittlere Geschwindigkeit, während die eben genannte Geschwindigkeit 6,2635 durch die seitenständige Oeffnung von 0,12 Ellen Durchmesser nur am Boden und keineswegs auf allen Punkten des Durchschnittes dieser Oeffnung stattfinden kann; auch ist die Zusammenziehung des Wasserstrahles außer Berechnung geblieben, in Folge welcher Zusammenziehung die Geschwindigkeit von 6,2635 sich noch vermindern muß; jedoch wird die mittlere Geschwindigkeit durch die genannte Oeffnung immer größer als 5,1454 Ellen seyn, aber hieraus kann man nicht schließen, daß die Formel nicht genau sey, denn das Gefäll von 1 auf 9 ist auch sehr reichlich genommen.

§. VI.

Ueber den Stoß des strömenden Wassers gegen einen Körper, und über den Widerstand, welchen ein Körper erfährt, der im Wasser bewegt wird.

41) Um die Größe des Stoßes zu bestimmen, den das anströmende Wasser oder irgend eine andere Flüssigkeit auf die Oberfläche eines Körpers äußert, hat man vorausgesetzt, daß das in einem Behälter, oder in einem Gefäß A B C Fig. 43 befindliche Wasser aus einer engen Oeffnung C im Boden oder in der Seitenwandung ausströmt und gegen eine ebene Fläche a b, welche in der Richtung des Wasserstrahles dem Stoße des letztern ausgesetzt ist, die erlangte Quantität der Bewegung verliert. Bei dieser Voraussetzung läßt sich sehr leicht ausmitteln, womit das Maß dieses Stoßes proportional seyn möge. Denn wenn man einmal ein Wassertheilchen

an und für sich betrachtet, so wird der Stoß dieses Theilchens um so größer seyn, in dem Maße, in welchem dasselbe eine größere Quantität der Bewegung besitzt. Alsdann ist jedoch mehr Kraft nöthig, um dieser Quantität von Bewegung zu begegnen. Die Größe des Stoßes hängt deshalb in dieser Hinsicht von der Geschwindigkeit der Bewegung ab, da die Quantität der Bewegung der Geschwindigkeit proportional ist. Hat das Wassertheilchen nach dem Stoß Gelegenheit, auszuweichen und einem folgenden Theilchen Platz zu machen, so übt dieses einen eben so großen Stoß, als das erste aus; und da auf diese Weise in derselben Zeit eine größere Aufeinanderfolge von Stößen stattfinden muß, je nachdem in der genannten Zeit eine größere Anzahl von Theilchen gegen die Fläche a b stoßen, d. h. je nachdem die Geschwindigkeit der Strömung größer ist, so hängt das Maß des Stoßes auch in dieser Hinsicht von der Geschwindigkeit ab, und wegen dieses doppelten Verhältnisses oder wegen dieser zweifachen Abhängigkeit muß das Maß des Stoßes im Ganzen proportional seyn dem Quadrate der Geschwindigkeit, mit welcher die Strömung oder die Ausströmung erfolgt.

Die Geschwindigkeit der Ausströmung selbst ist

$$= \sqrt{2gh}$$

(es bezeichnet nämlich h die Druckhöhe des Wassers A B C), weshalb das Quadrat der Geschwindigkeit $= 2gh$ ist, und da g eine unveränderliche Größe ist, so wird die Größe des ausgeübten Stoßes der Wasserhöhe h proportional seyn. Der Stoß wird anderer Seits um so größer seyn, wenn die Wassertheile in großer Anzahl zugleich stoßen, d. h. wenn die Oberfläche a b auf einer größern Ausbreitung gestoßen wird, so daß wenn a die Größe dieser [illegible]fläche ist, der Stoß proportional seyn muß $a \times h$.

Endlich hat der Stoß in größerem Maße statt, wenn die Flüssigkeit dichter oder schwerer ist, so daß, wenn man das Gewicht einer gewissen Kubikeinheit Wasser w nennt, die Größe des Stoßes in dem zusammengesetzten Verhältnisse von a, h und w stattfinden, d. h. w • a • h proportional seyn wird.

Aber wenn a und h mit derselben Maßeinheit gemessen sind, von welcher eine Kubikeinheit w Pfunde (oder Theile des Pfundes) wiegt, so drückt wah das Gewicht einer Säule Wasser aus, welche die Oberfläche a zur Basis, und die Wasserhöhe h zur Höhe hat, und hieraus folgt nun endlich, daß die Größe des Stoßes proportional ist der Extension der Oberfläche, gegen welche der Stoß stattfindet, und dem Quadrate der Strömungsgeschwindigkeit; oder auch dem Druck des Gewichtes einer Wassersäule, welche die gestoßene Oberfläche zur Basis und zur Höhe die proportionale Wasserhöhe hat, durch welche die wirkliche Strömungsgeschwindigkeit verursacht wird, oder von welcher man annehmen kann, daß ihr obige Ursache zum Grunde liegt. Da nun das Maß des Stoßes bekannt seyn wird, sobald die Höhe der eben genannten Wassersäule mehr bestimmt ist (da die Basis dieser Säule immer bekannt ist, oder als bekannt vorausgesetzt werden kann) so ist nun noch die Frage, welcher verhältnißmäßige oder welcher vielfache Theil der drückenden Wasserhöhe genau gleich seyn werde der wirklichen Höhe der Wassersäule?

Die Antwort auf diese Frage ist kurz; denn diese Höhe muß zwischen den Grenzen von h und 2 h liegen. Daß diese Höhe im Falle von Fig. 43 nicht geringer seyn könne, als h, ist ganz ein-

leuchtend; denn wenn wir annehmen, daß die Fläche gegen die Oeffnung C gestellt wäre, so würde bereits der Druck auf jeden Theil der Fläche a b demjenigen einer Säule gleich seyn, welche auf diesen Theilchen ruht und zur Höhe die Wasserhöhe B C = h besitzt; wenn also die Fläche a b von der Oeffnung C entfernt würde, so daß die Ausströmung vor sich gehen könnte, so würde kein Druck der Säule h, sondern ein Stoß, größer als der Druck von h obwalten. Der Stoß wird in dem Maße größer, in welchem die Fläche a b mehr von der Oeffnung C entfernt wird, aber er erlangt seinen größten Effect, wenn nämlich die Fläche a b so abgemessen ist, und in einem solchen Abstande von der Oeffnung C steht, daß alle Wassertheile des ausfließenden Strahles Gelegenheit finden, die Fläche a b senkrecht zu stoßen, und alsdann ungehindert seitlich ausweichen oder abfließen zu können, um den nachfolgenden Wassertheilen Platz zu machen.

Wenn nun der Stoß auf diese Weise möglichst groß geworden ist, so ist er gleich dem Druck einer Wassersäule, die zur Basis denjenigen Theil der Oberfläche A B hat, welcher gestoßen wird, und zur Höhe die doppelte Höhe a, in Folge welcher die vorhandene Geschwindigkeit der Ausströmung stattfindet.

Denn wenn a die Oberfläche ist, welche gestoßen wird, und wenn die Geschwindigkeit der Strömung in 1 Secunde = s ist, so müssen in 1 Secunde eine Quantität von a · s Wassertheile stoßen; das Gewicht dieser Quantität ist w · a · s, und die Masse, welche in 1 Secunde stößt, wird seyn $= \frac{w \cdot a \cdot s}{g}$; durch welche Masse nun eine Quan-

tität der Bewegung ausgeübt wird $= \frac{w \cdot a \cdot s}{g}$ $\cdot s$. Nennt man nun die Masse des Gewichtes, durch dessen Druck die genannte Quantität der Bewegung vernichtet wird, M; so wird dieses Gewicht den Stoß im Gleichgewicht erhalten. Da nun die Schwerkraft jeder Masse in 1 Secunde so zu sagen eine Quantität der Bewegung mittheilt $= M \cdot g$, und da M g das eigentlich druckende Gewicht G vorstellt, so hat man

$$G = \frac{w \cdot a \cdot s}{g} \cdot s = w \cdot a \frac{s^2}{g};$$

und substituirt man nun für s^2 seinen Werth 2 g h, so bekommt man

$$G = w \cdot a \cdot \frac{2\,g\,h}{g} = w \cdot a \cdot 2\,h,$$

was bewiesen werden muß.

42) In dem, was wir hier abgehandelt haben, ist das Wichtigste der Theorie des Stoßes eines Wasserstrahles gegen eine ebene Oberfläche enthalten, die senkrecht gegen den Wasserstrahl gerichtet ist. Die Erfahrung stimmt mit dieser Theorie überein; sie lehrt nämlich, daß, je nachdem man die Fläche auf eine gewisse Weise dem ausströmenden Strahl entgegenhält, das Maß des Stoßes demjenigen nahe kommen wird, welches angegeben ist, so daß, wenn die Wassertheilchen nach dem Stoße unbehindert seitlich ausweichen können, ohne jedoch schräg gegen die Fläche zu stoßen, eine Wassersäule, welche die gestoßene Oberfläche zur Basis, und die doppelte Wasserhöhe, welche dem Wasserstrahle die bestehende Geschwindigkeit gibt, oder geben kann, zur Höhe hat, den Stoß ganz vernichtet, oder ihn äquilibrirt. Aber außer diesem Stande der Fläche a b

Fig. 43 ist die eben genannte Höhe geringer, als das Doppelte der erwähnten Wasserhöhe, und es läßt sich schwer angeben, oder es ist vielmehr ganz unbekannt, welche Umstände obwalten müssen, damit die das Gleichgewicht herstellende Wassersäule eine bestimmte Höhe habe, welche zwischen h und 2 h liegt (wenn man nämlich die Wasserhöhe, welche der bestehenden Strömungsgeschwindigkeit entspricht, h nennt).

Der Fall, daß eine ebene Fläche in die Strömung eines fließenden Wassers wie z. B. in diejenige eines Canales gesetzt, den Stoß dieser Strömung erfährt, ist ganz verschieden von dem vorhergehenden, und zwar hauptsächlich aus den folgenden Gründen:

1) Weil die stoßenden Wassertheilchen durch die angrenzenden und fortfließenden Theile verhindert werden, unbehindert auszuweichen, und weil man deshalb nicht voraussetzen kann, daß die Wirkung so stattfindet, als ob diese Theilchen gleichsam eins nach dem andern ihren Stoß gegen die Fläche ausüben.

2) Weil die stoßende Flüssigkeit meistentheils an der Fläche über dem Wasserspiegel emporsteigt und dadurch einen größern Druck auf die vordere Seite der Fläche, als auf die hintere Seite derselben ausübt.

Hierdurch entsteht eine große Verschiedenheit im Maße des Stoßes, so daß eine Wassersäule, welche auf diese Oberfläche drückt und die Stoßkraft im Gleichgewichte hält, eine Höhe haben muß, welche von $1{,}24 \times h$ bis $1{,}64 \times h$ sich verändern kann. Der Stoß verändert sich auch schon mit der Dicke der gestoßenen Fläche, und scheint mit der Extension der Oberfläche einigermaßen zuzunehmen. Kommt hierzu der Druck, den eine Fläche an der Vorder-

seite mehr, als an der Hinterseite erfährt, so kann es sich zutragen, daß die Höhe der mehr genannten, das Gleichgewicht herstellenden Wassersäule die größte Grenze von 2 h überschreitet. Der Widerstand, welchen ein Körper oder die ebene Seite eines Körpers von einem fließenden Wasser erfährt, wenn diese Seite mit der Richtung der Strömung einen rechten Winkel bildet, läßt sich deshalb im voraus nicht genau angeben, kann aber in jedem Falle durch wirkliche Versuche gefunden werden.

Wird ein Körper nicht von einer Strömung gestoßen, sondern erfährt derselbe Widerstand, wenn er in einer stillstehenden Flüssigkeit bewegt wird, so wird für mittelmäßige Geschwindigkeiten dieser Widerstand wenig mit dem differiren, welcher stattfinden muß, wenn der Körper nicht bewegt wird, sondern die Flüssigkeit sich gegen denselben mit der nämlichen Geschwindigkeit bewegt, mit welcher die Bewegung des Körpers zuerst geschah.

Aber wenn die Geschwindigkeit des bewegten Körpers groß ist, so wird die Flüssigkeit an der vordern Seite des Körpers (wie z. B. am Vordersteren eines segelnden Schiffes) sehr merklich angehäuft werden, und höher zu stehen kommen, als an der hintern Seite, und durch diese Differenz im Wasserspiegel wird der Widerstand alsdann auch sehr verschieden werden von demjenigen des vorhergehenden Falles; derselbe wird nämlich größer. Aber noch größer, noch veränderlicher und noch weniger so beschaffen, um ohne Versuche im voraus bestimmt werden zu können, wird der Widerstand seyn, wenn ein Körper nicht in einer stillstehenden Flüssigkeit, sondern gegen eine Strömung fortbewegt wird.

43) Was deshalb von dem Maße des geradlinigen Stoßes der Flüssigkeiten gegen ebene Körper, oder von dem Widerstande bekannt ist oder festge-

setzt werden kann, den Körper durch den geradlinigen Stoß von Flüssigkeiten erfahren, ist eigentlich nichts, weil der absolute Widerstand nur für einige besondere Fälle bestimmt werden kann, und deshalb im Allgemeinen durch Versuche unmittelbar zu bestimmen ist. Aber hinsichtlich des relativen lothrechten Widerstandes und von einem besondern Umstande desselben weiß man mit hinlänglicher Zuverlässigkeit:

1) Daß der Widerstand des gegen einen Körper strömenden Wassers, oder derjenige eines im Wasser bewegten Körpers (und auch eben so in einer andern Flüssigkeit) für ähnliche Körper sehr genau proportional ist den Extensionen der Oberflächen der Körper, gegen welche der Stoß gerichtet ist, und den Quadraten der Geschwindigkeiten, mit welchen die Strömung des Wassers, oder die Bewegung der Körper vor sich geht.

2) Daß der Widerstand, den ein strömendes Wasser an einem Körper findet, in dem Maße größer wird, in welchem diese Flüssigkeit nach dem Stoße weniger Freiheit besitzt, abzufließen oder auszuweichen. In einer unbeschränkten Flüssigkeit, z. B. in einem weiten Canale wird eine ebene Fläche einen geringern Widerstand erfahren, als eine andere ebene Fläche, deren stehende Seiten mit Rändern oder emporstehenden Leisten versehen sind; so daß, wenn eine ebene Fläche in eine Rinne, oder in einen sogenannten Wassergraben gestellt wird, den sie beinahe ganz verschließt, ohne jedoch in denselben geklemmt zu seyn, diese Fläche von einem Wasser-

strom, welcher durch diesen Graben fließt, den größten Stoß erfahren und deshalb mit der größten Geschwindigkeit und Quantität der Wirkung von der Strömung fortgestoßen werden wird. Das Maß des Stoßes ist in diesem letzten Fall beinahe das Doppelte von dem, welches dieselbe Fläche in einer unbegrenzten Flüssigkeit erfährt, weshalb man, wenn dieses letztere bekannt ist, dadurch auch ersteres finden kann, eben so, wie man im ersten Falle den Widerstand eines Körpers berechnen kann, wenn man durch Versuche den Widerstand eines dem ersten ähnlichen Körpers bestimmt hat. Man nehme hier besonders Rücksicht auf das Wort ähnlich, denn wenn alle Seiten oder entsprechende Dimensionen der Körper nicht proportional sind, so findet auch kein Verhältniß des Widerstandes statt. Also sind alle Quadrate zwar ähnlich, aber viereckige Flächen oder Bretchen, deren Dicke nicht proportional ist mit der Länge oder Breite, sind keine ähnlichen Körper, und diejenige Fläche, welche verhältnißmäßig dicker ist, als die andere, wird auch einen größern Widerstand überwinden, als denjenigen, welcher stattfinden würde, wenn die Körper vollkommen gleichförmig oder ähnlich wären. Unsere Kenntniß des Widerstandes, den ein Körper erfährt, welcher schräg von einem Strome gestoßen wird, oder welcher in einer schrägen Richtung gegen eine Flüssigkeit bewegt wird, ist noch viel mangelhafter, als die Kenntniß, welche wir vom senkrechten Stoße haben. Es sey a b Fig. 44 eine Fläche, welche durch einen Strom gestoßen wird, dessen Richtung A B mit der Fläche a b einen spitzen Winkel a b d bildet; es sey a b die proportionale Geschwindigkeit des Stromes; wenn dann diese Ge-

schwindigkeit zerlegt wird in zwei andere B D und B C, von denen die eine die Geschwindigkeit ausdrückt, mit welcher die Flüssigkeit am Körper abfließt, und die zweite die Geschwindigkeit, mit welcher man sich denken kann, daß der Strom senkrecht gegen die Ebene a b stößt, so wird (wenn der senkrechte Stoß, der mit der vollen Geschwindigkeit A B stattfindet, proportional ist der Oberfläche a b und dem Quadrate der Geschwindigkeit A B) der schräge Stoß in der Richtung A B auch proportional seyn müssen der Oberfläche a b und dem Quadrate der zerlegten Geschwindigkeit B C.

Die Erfahrung lehrt nächstdem, daß dieses Verhältniß beinahe stattfindet, so lange der Winkel A B D nicht kleiner als 45° ist, aber daß die Abweichungen von der Berechnung von der Erfahrung sehr beträchtlich werden für kleinere Winkel, dergestalt, daß die Berechnung ein Resultat gibt, welches stets kleiner wird, als dasjenige der Erfahrung, je nachdem der Winkel A B D kleiner wird.

Man hat auf vielerlei Weise die Gesetze dieses schrägen Stoßes durch auf Erfahrung gegründete Formeln darzustellen gesucht, aber man ist stets in der Hoffnung, die Wahrheit zu finden, betrogen worden, nicht weil die Berechnung mangelhaft ist, sondern weil die Voraussetzungen dessen, was bei der Bewegung einer unbeschränkten Wassermasse obwaltet (nicht bei derjenigen eines schwachen Wasserstrahles) noch weit davon entfernt sind, mit der wahren Lage der Sache übereinzustimmen.

Von dem Maße des schrägen Stoßes weiß man deshalb nur, daß es geringer wird, wenn der Winkel des Stoßes spitzer wird; deshalb erfährt ein Körper A Fig. 45 auch weniger Widerstand von einer Flüssigkeit, gegen welche er anstößt, oder in

welcher der genannte Körper bewegt wird, wenn derselbe vorn spitzig endigt und die Seitenflächen schräg zur Richtung der Bewegung gerichtet sind, als wenn er eben oder breit ist, und den Stoß oder den Widerstand in einer perpendiculären Richtung erfahren muß. Aber obschon diese Erwägung von vielem Nutzen ist in der praktischen Anwendung, so kann man dennoch über die absolute Größe des Widerstandes im Voraus nichts Bestimmtes festsetzen, und für diesen Zweck muß man dann immer die Erfahrung zu Rathe ziehen.

§. VII.

Einige Bemerkungen über den Druck und über die Gesetze des Ausfließens der sogenannten unvollkommen flüssigen Stoffe.

44) Unvollkommene Flüssigkeiten nennt man Ansammlungen von körnergestaltigen Körperchen, welche, in einer gewissen Quantität angehäuft, einige mechanische Wirkungen hervorbringen, die scheinbar einige Aehnlichkeit mit den Wirkungen der Flüssigkeiten haben, aber doch bei genauer Betrachtung soviel von den Wirkungen im Druck und Bewegung der Flüssigkeiten verschieden sind, daß man gar nicht wissenschaftlich zu Werke geht, wenn man dergleichen Substanzen den Namen halber Flüssigkeiten oder unvollkommen flüssiger Substanzen gibt. Wie dem übrigens auch nun sey, so ist es doch nicht unrichtig und es kann in der Praxis der Mechanik von Nutzen seyn, die Effecte des Druckes und der Bewegung dieser Substanzen zu kennen. Hierüber wollen wir nun am Schlusse dieses Kapitels kürzlich uns einige Bemerkungen erlauben.

Die eben genannten körnerartigen Substanzen sind z. B. der trockne grobe und feine Sand, die Erdarten, die Metallfeilspäne, die Getreidekörner, der Bleihagel (Schrot) u. s. w. Als Beispiel wollen wir hier den trocknen Sand nehmen. Was über den Seitendruck eines Sandhaufens und über das Ausfließen des Sandes aus der Oeffnung eines Behälters gesagt werden wird, wird auch ziemlich gut anwendbar seyn auf verschiedene Erdarten, in sofern diese trocken sind, körnerartig und nicht aus Klumpen bestehen, besonders locker aufgehäuft und also nicht zusammengedrückt sind, so daß die Körner nicht gegenseitig zusammenhängen; aber auf alle die andern erwähnten könerartigen Substanzen werden die nachher zu meldenden Sätze oder Resultate von Erfahrungen keineswegs in allen Einzelnheiten anwendbar seyn.

45) Es sey a b Fig. 46 eine vertikale Wand, welche mit einer Masse aufgehäufter Sandkörner A B F B in Berührung steht. Wenn nun diese Wand auf einmal weggenommen würde, so weiß jeder, daß der Haufen, oder vielmehr, daß die Körner an der Wand einstürzen werden, und daß die Masse bei E C sich abschrägen, an den übrigen Stellen aber angehäuft bleiben wird. Hätte hier alles denselben Verlauf, wie es bei einer Flüssigkeit der Fall zu seyn pflegt, so müßte die ganze Masse sinken, oder von oben abfließen und die Bewegung würde nicht aufhören, bevor die Oberfläche E C D wieder vollkommen waagerecht geworden wäre, oder bevor die Masse gleichmäßig über den Boden geflossen wäre.

Das Ausweichen der untersten Sandschichten findet statt in Folge des Druckes der obern Schichten; der Widerstand, welcher das Ausweichen der Körner verhindert (die als eben so viele harte Kör-

perchen betrachtet werden müssen) ist die Reibung, die sie gegenseitig ausüben; wo dieser Widerstand deshalb kleiner ist, als der Druck, welcher durch das Gewicht der höher gelegenen Körner verursacht wird, da muß Ausweichung stattfinden; dieses kann aber nicht geschehen, wenn der genannte Widerstand größer ist, als das drückende Gewicht. Dieses ist der Grund, warum nur ein Theil des Sandhaufens einstürzt, während der andere Theil C D F bis zur ursprünglichen Höhe angehäuft bleibt. Denn gesetzt z. B. daß ein Theilchen b noch von der Böschung C E herabrollen könnte, so müßte dieses eine Folge des Druckes der über B gelegenen Theilchen seyn. Dieser Druck muß ein Seitendruck seyn. Die Körner drücken aber nicht nach der Seite hin, gleich den Theilchen einer Flüssigkeit, sondern sie drücken nach der Seite hin wie harte Körper, welche auf einer schiefen Fläche liegen; und da sie nur in der senkrechten Richtung C a mit ihrem vollen Gewichte drücken, so können sie in einer Seitenrichtung nur mit einem Theil ihrer Schwere drücken, und zwar mit einem um so kleinern Theile, in dem Maße, in welchem diese Richtung mehr von der senkrechten Linie abweicht (wie aus der Zerlegung der Kräfte bekannt ist). Darum muß alsdann irgend eine Grenzlinie C E vorhanden seyn, längs welcher die Seitendrucke der oben liegenden Theilchen kleiner werden, als die Kraft oder der Druck, welcher nöthig ist, um die gegenseitige Reibung der Körner zu überwinden, und um Bewegungen hervorzubringen.

Die eben genannte Grenzlinie ist verschieden für die verschiedenen körnerartigen Substanzen. Die Erdarten anlangend, lehrt die Erfahrung, daß die Abschrägung E C beinahe als eben und also auch der Durchschnitt E C beinahe für geradlinig gehal-

ten werden kann, so wie daß der Druck der Reibung das Gleichgewicht hält, d. h. daß das Einstürzen oder Herabrollen der Körner aufhören wird, wenn die Abschrägung E C so geworden ist, daß, wie groß auch die Höhe seyn möge, bis zu welcher die Anhäufung erfolgt.

Für feinen trocknen Sand der Winkel C E B im Durchschnitt ist . . . . = 32°
Für Sand vermengt mit Erde . = 34°
Für trockne Gartenerde . . . . . = 37°
Für gewöhnlichen trocknen Lehm = 40°
Für trocknen fetten oder schweren Thon . . . . = 45°

Die Abschrägungen für den Winkel von 32° betragen . . . . . . 1,6 bis 1.
Die Abschrägungen für den Winkel von 34° betragen . . . . . . 1,5 bis 1.
Die Abschrägungen für den Winkel von 37° betragen . . . . . . 1,3 bis 1.
Die Abschrägungen für den Winkel von 40° betragen . . . . . . 1,2 bis 1.
Die Abschrägungen für den Winkel von 45° betragen . . . . . . 1 bis 1.

Es ist nun nicht schwer, hieraus zu entnehmen, wie man annähernd den Druck zu bestimmen hat, welcher durch eine locker aufgehäufte Erdmasse gegen eine senkrechte Wand A B Fig. 47 ausgeübt wird; denn, wenn man den Winkel C B F gleich macht dem entsprechenden Neigungswinkel für Sand oder Erde u. s. w., so wird es allein die im Prisma befindliche Masse seyn, deren Durchschnitt das Dreieck A B C ist, welche einzustürzen geneigt seyn wird. Diese Masse muß man nun betrachten, als erhalte sie sich wie ein dreieckiger oder keilförmiger Körper, der die Schwere der Masse A B C hat und auf einer schiefen Fläche B C liegt, deren Basis und Höhe

zu einander in den oben angegebenen Verhältnissen von 1,6 bis 1 für Sand, von 1,5 bis 1 für Erde mit Sand vermengt u. s. w. stehen. Das Herabsteigen dieses Körpers muß verhindert werden durch eine Kraft k, senkrecht gerichtet gegen die Wand A B in der Richtung K a, deren Verlängerung durch den Schwerpunkt a des Dreiecks A B C läuft, und die Berechnung läuft alsdann darauf hinaus: man bestimme in Gemäßheit der Grundsätze, welche in §. I. des 5. Kapitels Abth. II. des I. Theiles angegeben sind, die Kraft, mit welcher der Körper parallel der Basis B F der schiefen Fläche getragen werden muß, so wird diese Kraft das Maß des Druckes gegen die ganze Wand A B darstellen.

Um diesen Druck zu berechnen, muß man die Quantität der Reibung d. h. das Verhältniß der Reibung zum Druck für die verschiedenen körnerartigen Substanzen kennen. Diese Quantitäten hängen von den oben angegebenen Winkeln ab und sind nach der ausgeführten Berechnung folgende:

Für trocknen feinen Sand Quantität der Reibung . . . . . . = 0,625
" Sand, vermischt mit Erde . = 0,687
" trockne Gartenerde . . . . . = 0,753
" trocknen Lehm . . . . = 0,839
" trocknen schweren Thon . . = 1,000

Aus der Formel, welche man auf diese Weise bekommt; ergibt sich, daß der Druck auf jeden Punkt der Wand A B ganz und gar abhängig ist von der Tiefe, bis zu welcher dieser Punkt unter der Oberfläche der aufgehäuften Körner liegt, so wie dieses bei Flüssigkeiten der Fall ist, obschon alsdann der Druck gerade gleich ist dem Gewicht der darüber stehenden Flüssigkeitssäule. Wenn man ferner in derselben Formel den Winkel C B F = o d. h. die Höhe der schiefen Fläche B C = o setzt,

so wie dieses bei Flüssigkeiten der Fall ist, so verändert sich die Formel, welche das Maß des Druckes einer Flüssigkeit gegen die Wand A B ausdrückt.

In diesen Hinsichten allein hat der Druck körnerartiger Substanzen einige Aehnlichkeit mit demjenigen der Flüssigkeiten; denn in jedem andern Falle ist der Effect sehr verschieden. So wird z. B. eine Flüssigkeit, welche man in den einen Schenkel einer doppelt gebogenen Röhre gießt, in den andern Schenkel übertreten und endlich in beiden gleiche Höhe erlangen; jedoch mag man in den einen Schenkel eben derselben Röhre noch soviel Sand u. s. w. eintragen, so kann derselbe doch niemals bis in den andern Schenkel gelangen, sondern die Körner werden blos bis auf eine kleine Entfernung im horizontalen Theile der Röhre fortrollen, wovon sich die Gründe sogleich ergeben werden, und woraus dann auch z. B. folgen muß, daß, wenn die Wand A B Fig. 47 ein wenig (mittelst einer Rolle z. B.) emporgezogen wird, aus der entstandenen Oeffnung nur ein kleiner Theil Sand wegrollen wird.

Eine gleich große Verschiedenheit im Effecte nimmt man wahr zwischen dem Ausströmen von Flüssigkeiten und dem Ausfließen körnerartiger Substanzen aus einer horizontalen oder aus einer seitenständigen Oeffnung eines Gefäßes oder Behälters. Denn wenn z. B. feiner Sand aus einer engen Oeffnung im Boden eines Behälters, der mit diesem Sande gefüllt ist, herausfließt, so lehrt die Erfahrung, daß das Ausfließen immer auf dieselbe regelmäßige Weise stattfindet, wie groß auch die Höhe sey, bis zu welcher der Sand über die Oeffnung im Behälter angehäuft ist. Wahrscheinlich wird dieses bei Oeffnungen, die im Verhältnisse zur Oberfläche des Bodens groß sind, nicht mit der Genauigkeit stattfinden, welche man beim Ausfließen

des Sandes durch eine sehr enge Oeffnung (die jedoch, um die Bewegung der Körner in keiner Hinsicht zu hindern, am Umfange verdünnt und abgerundet war) wahrgenommen hat; denn es ist nach den angestellten Beobachtungen die Quantität des Sandes, welcher durch dieselbe Oeffnung, jedoch bei verschiedenen Sandhöhen und Drucken auf die Oberfläche des Sandes durchgelaufen ist, in einerlei Zeiten immer dieselbe geblieben.

Wenn man den Lauf des Sandes in einer gefüllten Sanduhr einige Minuten beobachtet, so wird man auch mit unbewaffneten Augen keine Veränderung in der Geschwindigkeit des laufenden Sandes spüren können, obschon in der That diese Wahrnehmung zu mangelhaft ist, als daß man aus derselben einen allgemeinen Schluß sollte machen können. Die Ursache dieser höchst regelmäßigen Bewegung muß in der Reibung der Sandkörner an einander liegen; denn, wenn diese Reibung dem Drucke proportional ist, so muß sie mit demselben auf gleiche Weise zunehmen oder abnehmen, so daß die Bewegung immer denselben relativen Widerstand erfährt, und die an oder gleich über der Oeffnung liegenden Sandkörner werden allein unbehindert ausfließen können, während die darüber liegenden Körner daran verhindert werden, durch die Reibung und durch die Unterstützung, welche sie einander gegenseitig gewähren.

Wenn Sand aus einer engen Seitenöffnung läuft, so nimmt man sogleich wahr, daß die Höhe, bis zu welcher die Körner über der Oeffnung angehäuft sind, nichts beiträgt zur Geschwindigkeit oder Quantität des Ausfließens. Aber wenn die Seitenöffnung D Fig. 48 so eng ist, daß die Weite b c sich zur Dicke a b der Wand wie 1 zu 1,6 verhält, so daß der Sand innerhalb der Oeffnung die na-

türliche Neigung von 32° (siehe oben) annehmen kann, so wird kein Ausfluß stattfinden, weil der Seitendruck, den die oben liegende Masse A B C D alsdann ausübt, um in der Richtung C c a Bewegung entstehen zu lassen, ganz und gar aufgewogen wird durch die Reibung und durch die Wand A D des Behälters. Dieses ist auch der Grund, warum der Sand nicht gleich einer Flüssigkeit in den beiden Schenkeln einer Röhre sich auf gleiche Weise erheben kann.

Viertes Kapitel.

Ueber einige Fälle der Bewegung, und besonders über die Ausströmung elastischer Flüssigkeiten.

---

§. I.

Gesetze der Ausströmung elastischer Flüssigkeiten aus engen Oeffnungen eines Raumes, in welchen sie eingeschlossen sind.

46) Die hauptsächlichsten Fälle der Bewegung elastischer Flüssigkeiten, besonders der beständig elastischen Flüssigkeiten, mit welchen man sich in den praktischen Fällen der Werkzeugswissenschaft bekannt machen muß, beschränken sich auf folgende:

a) Man muß sich bekannt machen mit der Art und Weise, wie eine solche Flüssigkeit in einen leeren Raum oder in einen Raum strömt, welcher eine elastische Flüssigkeit von geringerer Dichtheit enthält;

b) mit der Art und Weise, wie sich dergleichen Flüssigkeiten durch Röhren bewegen;

c) mit dem Widerstande, den sie einem Körper entgegensetzen, welcher ihnen entgegenbewegt wird, oder gegen welchen sie anströmen und stoßen.

Um die Beispiele noch mehr zu beschränken, wollen wir hier meistentheils voraussetzen, daß die fragliche elastische Flüssigkeit die atmosphärische Luft sey, weil die Folgerungen und Berechnungen auch auf alle anderen elastischen Flüssigkeiten anwendbar sind. Die Ursache des Ausfließens einer elastischen Flüssigkeit aus der Oeffnung eines Gefäßes, in welchem sie enthalten ist, liegt in ihrer Elasticität. Diese Elasticität ändert sich z. B. in unserer atmosphärischen Luft mit der Entfernung der Luftschichten über der Oberfläche der Erde, aber die Elasticität derselben Luftmasse wird auch anders bei den Veränderungen von Wärme und Kälte, welche Veränderungen hier jedoch außer Berechnung gelassen werden sollen. Auch wird vorausgesetzt, daß die Luftmasse, auf welche die unten stehenden Betrachtungen anwendbar sind, nicht eine solche Extension in der Höhe haben, daß dadurch die Dichtheit der untersten Schichten merklich von denen der obersten verschieden ist, so daß man die Dichtheiten und Drucke in allen Punkten der Luftmasse als gleich annimmt. Auf diese Weise wird es dann einerlei seyn, ob die Luftmasse aus einer engen oder aus einer weitern Oeffnung strömt, möge nun diese horizontale oder vertikale Oeffnung höher oder tiefer gerichtet, oder angebracht seyn.

47) Es sey A B D C Fig. 49 ein an allen Seiten geschlossener Raum und mit Luft gefüllt, deren Dichtheit und Elasticität bekannt sind. Wenn nun irgendwo z. B. im Boden C D eine Oeffnung a b gemacht wird, und außer dem Gefäß keine Luft vorhanden ist, so wird die Luft aus A B D C durch die Oeffnung a b strömen. In dem Maße, in wel-

chem die Ausströmung stattfindet, wird die Luft im Gefäß stets dünner und weniger elastisch als zuvor, weil die immer abnehmende Quantität Luft denselben Raum ABDC beständig ausfüllen wird, wozu sie sich beständig mehr und mehr ausdehnen oder ausbreiten muß, was eine Verminderung der Spannung oder der Federkraft zur Folge haben wird. Die Geschwindigkeit der Ausströmung mußte unmittelbar gerade so wie die Geschwindigkeit der Ausströmung einer Flüssigkeit bestimmt werden, wenn diese Geschwindigkeit von der Druckhöhe d. h. des Gewichtes, d. h. von dem Gewichte der drückenden Luftsäule abcd abhinge, aber sie wird erzeugt durch die Elasticität oder durch die Ausdehnungskraft der Flüssigkeit, deren Druck viel größer ist, als derjenige des Gewichtes der erwähnten Säule.

Dieser Fall läßt sich jedoch leicht auf denjenigen der Ausströmung einer Flüssigkeit zurückführen; denn wenn man die Luftmasse ABDC sich um soviel höher als AC verbreitet denkt, daß, wenn man dieser höhern Säule überall dieselbe Dichtheit oder specifische Schwere und keine Elasticität oder Zusammendrückbarkeit beimißt, ihr Gewicht bei der Oeffnung ab eben so sehr drückt, als Druck ausgeübt wird durch die Elasticität der Masse ABDC, so ist es einleuchtend, daß die Ursache der Ausströmung in beiden Fällen gleich kräftig seyn müsse, und daß die Ausströmung auch in beiden Fällen auf dieselbe Weise stattfinden müsse; aber die elastische Flüssigkeit ist dann wirklich in Gedanken in eine unelastische Flüssigkeit verändert, welche überall dieselbe Dichtheit besitzt, sich wie eine tropfbare Flüssigkeit verhält und bei ihrer Ausströmung

denselben Gesetzen, wie die tropfbaren Flüssigkeiten unterworfen ist.

Wenn man deshalb annimmt, daß die mittlere Elasticität der atmosphärischen Luft an der Oberfläche der Erde im Gleichgewicht ist mit einer Quecksilbersäule von 76 niederländischen Zollen Höhe, oder mit einer Säule reinen Wassers von 10,301 Ellen (Art. 15), so wird eine Luftsäule, welche überall dieselbe Dichtheit besitzt und die man sich als incompressibel denkt, eine Höhe haben müssen von $10{,}331 \times 770 = 7954{,}87$ Ellen, um auf einer Oberfläche denselben Druck auszuüben, als eine Wassersäule von 10,331 Ellen Höhe, oder als die ursprüngliche Luftmasse durch ihre Elasticität ausübt.

Denn wenn die Schwere des Wassers $= 1$ ist, so wird die specifische Schwere der Luft $= 0{,}00299 = \frac{1}{770}$ betragen, und um wieviel leichter eine Flüssigkeit ist, als eine andere, um gerade soviel muß eine Säule der ersten Flüssigkeit höher seyn, als eine Säule der letztern, damit beide gleichviel wiegen. Da nun in diesem Zustande die Geschwindigkeit der Ausströmung gleich ist der Geschwindigkeit, welche ein Körper, der aus der Höhe der druckenden Säule herabfällt, am Ende dieses Falles erlangt, so wird die Geschwindigkeit der Ausströmung auch hier gefunden werden durch dieselbe Formel.

$$s = 4{,}429 \sqrt{h},$$

durch welche die Geschwindigkeit der Ausströmung einer Flüssigkeit berechnet wird, welche in einem Gefäß bis zur Höhe a steht (siehe Art. 21), ohne nun den Effect der Zusammenziehung des Stromes in Anschlag zu bringen, kann die Geschwindigkeit mit welcher eine Luftmasse A B D C durch eine Oeff-

nung a b in einen luftleeren Raum ausfließt, berechnet werden durch die Formel

$$s = 4{,}429 \sqrt{7954{,}87} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

woraus folgt

$$s = 4{,}429 \times 89{,}19 = 395{,}0225 \text{ Ellen.}$$

48) Man kann durch eine allgemeine Formel für Flüssigkeiten oder Luftarten von verschiedener Dichtheit und Elasticität den Werth der Ausströmungsgeschwindigkeit in den luftleeren Raum und für den ersten Augenblick ausdrücken. Es sey die Höhe der Quecksilbersäule, deren Gewicht die Elasticität der Flüssigkeit im Gleichgewicht hält = H Ellen, so ist die Höhe einer Wassersäule von gleicher Schwere und auf dieselbe Fläche drückend als das Quecksilber = 13,593 · H; es sey die Dichtheit, d. h. die specifische Schwere der Luftart, die eine Druckkraft H besitzt, zu gleicher Zeit = D in der Voraussetzung, daß die Schwere des reinen Wassers = 1 ist: so wird die Höhe einer Flüssigkeitssäule, die überall dieselbe Dichtheit D besitzt und allein durch ihr Gewicht einen gleichen Druck von 13,593 · H Ellen Wasserhöhe trägt, welche durch die Elasticität einer Luftmasse ausgeübt wird, — so wird diese Höhe seyn $= 13{,}593 \cdot \frac{H}{D}$, und unter dieser Höhe wird die Ausströmungsgeschwindigkeit

$$s = 4 \cdot 429 \sqrt{13{,}593 \cdot \frac{H}{D}} = 16{,}333 \sqrt{\left(\frac{H}{D}\right)} \quad . \quad (2).$$

Wenn die Dichtheit derselben Flüssigkeit nach Verlauf einiger Zeit der Ausströmung (von der noch immer angenommen wird, daß sie in den luftleeren Raum erfolge) = d geworden ist, so hat ihre Elasticität im Verhältnisse der Dichtheit abgenommen

(Art. 17), und um die Höhe der Quecksilbersäule zu finden, deren Gewicht alsdann die Elasticität der Flüssigkeit äquilibrirt, so erhält man, wenn die verlangte Höhe $= x$ genannt wird, folgende Proportion:

$$H : x = D : d \text{ und } x = \frac{Hd}{D};$$

setzt man nun in die Formel (2) für H den gefundenen Werth $x = \frac{H \cdot d}{D}$, und für D die alsdann bestehende Dichtheit d, so wird diese Formel

$$s = 16{,}333 \sqrt{H \times \frac{1}{D}} = 16{,}333 \sqrt{\frac{H \cdot d}{D}} \times \frac{1}{d} = 16{,}333 \sqrt{\frac{H}{D}},$$

und da diese Formel von der vorhergehenden Formel (2) gar nicht verschieden ist, so ergibt sich hieraus der merkwürdige Satz: daß die Ausströmungsgschwindigkeit irgend einer Gasart, welche aus einem verschlossenen Raum in einen andern unbestimmten luftleeren Raum fließt, immer dieselbe bleibt, bis auf welchen Grad die Dichtheit dieser Gasart sich auch vermindern möge. Es läßt sich dieses auch aus der Art der Sache begreifen, denn je geringer die Dichtheit wird, um soviel höher wird auch die Luftsäule, deren Gewicht die Elasticität dieser verdünnten Luft äquilibrirt; aber diese Elasticität nimmt in demselben Verhältnisse, als die Dichtheit ab, und also bleibt zwischen x und d dasselbe Verhältniß bestehend, als zwischen H und D; folglich verändert sich die Höhe der Säule nicht,

und folglich auch nicht die Geschwindigkeit s, welche allein abhängt von dem Verhältnisse $\frac{H}{D}$.

Bei dem Ausfließen elastischer Flüssigkeiten aus Oeffnungen von Gefäßen, Canälen oder Röhren, aus welchen oder in welche sie strömen, wird die Quantität der Ausströmung d. h. auch die Geschwindigkeit der Ausströmung durch eine Zusammenziehung des ausströmenden Gasstrahles vermindert. Durch Vergleichung berechneter und geprüfter Resultate hat man gefunden, daß die Quantität der Zusammenziehung auf dieselbe Weise gerechnet werden kann, als wie bei einem ausfließenden Wasserstrahl, so daß man in Folge dieser Zusammenziehungen die berechnete Geschwindigkeit der Ausströmung vermindern muß, im Verhältniß von

1 zu oder auf 0,625 (was manchmal auf 0,634 gesetzt werden kann), wenn die Ausströmung durch eine Oeffnung in einer dünnen Wand stattfindet.

1 " " " 0,813, wenn die Ausströmung durch eine angesetzte Röhre erfolgt, die eine Länge hat $= 2\frac{1}{2}$ bis 3 Mal die Weite der Mündung.

1 " " " 0,681, wenn der Ausfluß durch eine gleiche Röhre stattfindet, wie im vorhergehenden Falle, die aber nicht nach auswärts, sondern einwärts gerichtet ist.

1 " " " 0,983, wenn der Ausfluß durch eine Oeffnung erfolgt, die inwendig in der Form des zusammengezogenen Luftstrahles ausgerundet ist.

Fließt das Gas unbehindert aus einer langen Röhre, welche an die Oeffnung der Röhre gesetzt ist, so nimmt seine Ausströmungsgeschwindigkeit mit der Zunahme der Länge der Röhre ab, weil auch einige Reibung der Lufttheile an den Wänden der Röhre stattfindet, wodurch die Bewegung der vorhergehenden Lufttheile verzögert und diejenige der folgenden Lufttheile gehindert wird; aber das Gesetz dieser Abnahme ist unbekannt.

In Folge der ersten dieser Angaben wird die Ausströmungsgeschwindigkeit der atmosphärischen Luft in dem Falle, welcher in Art. 47 erwähnt und vorausgesetzt, und daselbst auf 395,0225 Ellen auf die Secunde berechnet worden ist, reducirt werden auf 0,625 × 395,0225 = 246,899 Ellen oder beinahe 250 Ellen in der Secunde reducirt werden. Die Quantität der in der Secunde ausgeflossenen Luft wird dadurch bekannt, daß man die Geschwindigkeit mit der Oberfläche der Oeffnung, in Quadratellen ausgedrückt, multiplicirt; doch genau kann diese Berechnung nicht seyn, weil selbst in weniger als 1 Secunde bei der geschwinden Ausströmung der Luft die Federkraft derselben beträchtlich vermindert werden kann.

49) Mit Hülfe der Formel (2) können nun alle die andern bestimmt werden, welche auf die am meisten vorkommenden Fälle Bezug haben.

a) Die erste Aufgabe sey, die Geschwindigkeit der Ausströmung einer Luft oder eines Gases zu bestimmen, welche eine Dichtheit D und eine Elasticität besitzt, welche eine Quecksilbersäule von H Ellen trägt, während die Luft aus einem verschlossenen Raum A B D C Fig. 49 durch die Oeffnung a b in eine unbeschränkte Luftmasse strömt von der Dichtheit d, und welche, da sie unbeschränkt ist, keine Veränderung in ihrer Dichtheit durch die Luft A B D C

erfährt, welche in der genannten Masse vertheilt wird.

Da die Dichtheit der äußern Luft = d ist (geringer als D) so ist die Elasticität derselben $= \frac{H \cdot d}{D}$, und die ausströmende Luft, deren Elasticität = H ist, erfährt auch zu Anfang der Ausströmung einen Widerstand $= \frac{H d}{D}$; es ist also eben so, als ob die Luft A B D C nur eine Elasticität hätte, welche im Stande ist, eine Quecksilbersäule von $H - \frac{H d}{D} = H \frac{D - d}{D}$ Ellen zu tragen, und dann in Folge dieser Elasticität in den luftleeren Raum auszuströmen. Folglich wird in der Formel (2) für H nur substituirt $\frac{H (D - d)}{D}$ und dann wird die Geschwindigkeit für den ersten Augenblick der Ausströmung

$$s = 16{,}333 \sqrt{\frac{H(D-d)}{D^2}} = \frac{16{,}333}{D} \sqrt{H(D-d)} \quad (3).$$

Die Dichtheit nimmt allmählig ab in dem Maße, in welchem die Ausströmung fortdauert; es sey p die Dichtheit in einem gewissen Augenblicke der Ausströmung, so ist die Elasticität $= \frac{H p}{D}$, und da der Widerstand der äußern Luft unveränderlich bleibt $= \frac{H d}{D}$, so erfolgt der Ausfluß wegen des Uebermaßes der Spannung der innern Luft, welche

im Stande ist, eine Quecksilbersäule in der Höhe von $\frac{H\,p}{D} - \frac{H\,d}{D}$ zu tragen.

Bringt man nun diese Höhe statt H in die Formel (2) und verändert auch in dieser Formel D in p, so wird sie

$$s = 16{,}333 \sqrt{\frac{1}{p} \cdot \left\{\frac{H\,p}{D} - \frac{H\,d}{D}\right\}} = 16{,}333 \sqrt{\frac{H}{p} \cdot \frac{(p-d)}{D}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Sobald die Dichtheit der innern Luft in sofern vermindert ist, daß sie derjenigen der äußern Luft gleich geworden ist, wird $p = d$ seyn, s wird $= 0$ und das Ausfließen hört auf, weil alsdann Gleichgewicht eingetreten ist.

b) Man kann annehmen, daß der Raum A B D C luftleer ist, und daß die äußere Luft durch eine Oeffnung a b in denselben strömt. Weil nun die äußere Luft unbegrenzt ist, so wird sie sich, während das Einströmen erfolgt, an Dichtheit nicht verändern, aber die Dichtheit der innern Luft wird allmählig zunehmen und der äußern Luft stets größern Widerstand entgegensetzen. Wenn die Elasticität der äußern Luft im Stande ist, eine Quecksilbersäule H zu tragen, und wenn ihre Dichtheit = D ist, so wird die Geschwindigkeit des Einströmens im ersten Augenblick gerade diejenige seyn, welche unmittelbar durch die Formel (2) bestimmt wird. Ist nach Verlauf einiger Zeit die Dichtheit der innern Luft d, so wird die Einströmungsgeschwindigkeit durch Berechnung der Formel (3) gefunden werden, während dieselbe Formel auch für den Fall benutzt werden kann, wenn der Raum A B C D zu Anfang der

Bewegung Luft enthält, welche eine Dichtheit d geringer als D besitzt. Die Bewegung hört natürlich auf, wenn die Dichtheit d bis zu D angewachsen ist; alsdann ist der Raum ABCD ganz und gar mit äußerer Luft gefüllt.

Die Luft, welche in die Mündung eines Geschützes dringt, und zwar augenblicklich nach dem Abfeuern desselben, dringt gewissermaßen in einen leeren Raum, welcher durch die Explosion des Pulvers entstanden ist, und da die Geschwindigkeit dieser eindringenden Luft alsdann beinahe 250 Ellen beträgt (Art. 48), so kann sie einen beträchtlichen Stoß verursachen, welcher dem Quadrate dieser Geschwindigkeit proportional ist. Es ist deshalb begreiflich, daß ein solches Geschütz sehr leicht und in einem einzigen Augenblicke zurücklaufe könne.

c) Es sollen ABO und CDO Fig. 38 zwei Räume seyn, welche an allen Seiten geschlossen sind, und durch eine Oeffnung oder Röhre O mit einander communiciren. Die Dichtigkeit der Luft in ABO sey = D; ihre Elasticität = H und ihre Dichtheit in OCD = d, so wird die Geschwindigkeit, mit welcher die dichtere Luft d in den Raum ODC fließt, im ersten Augenblicke der Bewegung nach der Formel (3) seyn

$$= \frac{16,333}{D} \sqrt{H (D - d)}.$$

Wenn nach einiger Zeit die Luft ABO eine geringere Dichtheit p besitzt, so hat die Dichtheit d der Luft OCD zugenommen; wir wollen dieselbe mit q bezeichnen. Da nun die Quantität der Luft in den beiden Räumen unverändert geblieben ist, so ist es sehr leicht, die so eben erwähnte Dichtheit q zu bestimmen. Man nenne den Kubikinhalt des Raumes ABO = I und denjenigen des Raumes

OCD = i, so ist das Gewicht der Luft in den beiden Räumen vor dem Ausströmen gleich der Summe von I + i, nachdem jede Größe mit den Dichtheiten der Luft ABO und OCD multiplicirt worden ist, folglich = I · D + i · d. Ist nun die Dichtheit der Luft ABO = p geworden, so beträgt ihr Gewicht p · I und zur selben Zeit ist das Gewicht der Luft ABO = I · q, so daß das Gesammtgewicht p · I + q · i beträgt, und da nun das Gewicht unveränderlich bleibt, weil die totale Quantität der Luft nicht abnimmt, so wird

$$I \cdot p + i \cdot q = I \cdot D + i \cdot d$$

seyn müssen, woraus alsdann folgt

$$q = \frac{I\,(D - p) + i\,d}{i}.$$

Da die Luft ABO eine Dichtheit besitzt = p, so hat sie auch eine Elasticität = $\frac{Hp}{D}$; desgleichen ist auch die Elasticität der Luft OCD = $\frac{Hq}{D}$, d. i. (in Folge des gefundenen Werthes von q) = H [I (D — p) + i · d] : i D, so daß die Differenz in den Höhen der Quecksilbersäulen, welche mit der Elasticität der ausfließenden und der reagirenden Luft das Gleichgewicht herstellen, wird

$$= \frac{Hp}{D} - \frac{H}{Di}\left\{I\,(D - p) + i\,d\right\}$$

$$= \frac{Hpi - H\,[I\,(D - p) + i\,d]}{Di};$$

man bringe diesen Werth in die Formel (2) statt

H und ferner substituire man für p in derselben Formel D, so bekommt man

$$S = 16{,}333 \sqrt{\left\{\frac{H}{D} \times \frac{i(p-d) - I(D-p)}{i \cdot p}\right\}} \quad . \ (5)$$

d) Wenn die obere Wand A B Fig. 49 eines Gefäßes z. B. eines Cylinders, in welchem Luft enthalten ist, welche aus der Oeffnung a b strömt, beweglich ist, und diese Wand gleich einem Pumpenschuh in einer Pumpe regelmäßig niedergeht, so wird dadurch natürlich die Geschwindigkeit der Luftausströmung vermehrt, denn um wieviel der Pumpenschuh oder Kolben niedergeht, soviel Luft wird dabei niederwärts gedrückt, und gerade soviel muß mehr durch die Oeffnung a b fließen, als wegen der Elasticität der Luft ausgetrieben wird. Man nenne die Oberfläche des Kolbens O und diejenige der Oeffnung a b = o; wenn nun der Kolben oder Pumpenschuh in 1 Secunde regelmäßig einen Raum durchläuft = R, so verdrängt er in dieser Zeit eine Quantität von R · O Kubikellen Luft; diese Quantität muß zur selbigen Zeit durch die Oeffnung a b ausgetrieben werden, und da die Geschwindigkeit des Ausflusses multiplicirt mit der Größe o der Oeffnung, die Quantität ausgeflossene Luft anzeigt, so muß die Geschwindigkeit multiplicirt mit o = R · O seyn; woraus folgt

die Geschwindigkeit ist $= R \cdot \frac{O}{o}$.

Es leuchtet auch von selbst ein, daß die Geschwindigkeit der Bewegung durch a b um soviel größer seyn müsse, als die Geschwindigkeit R des Pumpenschuhes, wenn die Oberfläche O größer ist, als die Oberfläche o, wie wir bereits bei Betrachtung der Wasserpresse gesehen haben.

Wenn in einem Falle die Geschwindigkeit beim freien Ausfluß = S ist, und ein Pumpenschuh oder Kolben, welcher eine Oberfläche = O hat, mit einer Geschwindigkeit R der Bewegung der Luft folgt, so muß die Geschwindigkeit des Ausfließens durch eine Oeffnung, welche eine Oberfläche o hat, im Ganzen ausgedrückt werden durch

$$s = S + R \cdot \frac{O}{o} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

ohne die Wirkung der Zusammenziehung in Anschlag zu bringen. Man kann zum wenigsten die Sache auf diese Weise betrachten, obschon sie sich häufig anders verhält, hauptsächlich wenn die Ausflußöffnungen eng sind und die innere Luft durch die Bewegung des Kolbens eher auf kurze Zeit eine Compression erfährt, als daß sie ohne eine solche Wirkung frei aus der Ausflußöffnung getrieben wird.

50) Um den Gebrauch der oben angegebenen Formeln einigermaßen näher zu erläutern, wollen wir die Aufgabe stellen, die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit welcher die Luft aus der Düse eines Gebläses in das Feuer eines Schmelzofens getrieben wird, indem wir annehmen, daß die Luft im Recipienten bis auf den Druck von 1,4 Pfund auf den niederländischen Quadratzoll zusammengedrückt ist?

Um den Geist dieser Frage zu erfassen, muß man wissen, was ein Gebläse ist. Obschon es sehr vielerlei Gebläse und dergleichen gibt (sie sind nämlich häufig in Bezug auf den Zweck verschieden, für welchen die Feuerwärme angewendet werden soll, z. B. um glühend zu machen, oder um zu schmelzen), so wollen wir hier jedoch hauptsächlich die Einrichtung einer sogenannten Windpumpe oder ei-

nes cylindrischen Gebläses beschreiben, welches die Luft in einen trockenen cylindrischen Recipienten preßt, um sie von da weiter durch Canäle und Röhren in das Feuer eines Ofens zu blasen. Diese Art von Gebläse sind jetzt am vollkommensten und zweckmäßigsten für Arbeiten im Großen, z. B. für das Anblasen des Feuers in den Hochöfen, in welchen die Eisenerze geschmolzen werden. Was jedoch die Auflösung anlangt, so wird diese nicht allein auf das zu beschreibende Werkzeug, sondern selbst auf gewöhnliche Blasbälge anwendbar seyn.

ABCD Fig. 50 ist der Durchschnitt eines Cylinders von Gußeisen, oben und unten durch Deckel verschlossen. ZZ ist ein massiver Kolben mit Werg umwickelt, so daß er ganz luftdicht den glatt ausgebohrten Cylinder verschließt und mit Ueberwindung seiner Reibung geradlinig auf- und niederbewegt werden kann. Diese Bewegung wird mitgetheilt durch eine mächtige Bewegkraft (z. B. durch den Dampf des kochenden Wassers), welche durch andere mechanische Theile auf einen Maschinenbaum oder Balancier wirkt, denselben abwechselnd auf- und niederschwingen läßt und auf diese Weise die Stange ST des Kolbens zugleich mit dem Kolben auf- und niederzieht, da diese Stange mit dem Ende des eben genannten Maschinenbaumes vereinigt ist. Die Stange bewegt sich in einer Stopfbüchse des Deckels AB, so daß bei der Bewegung keine Luft zwischen die Stange und die Wand der Büchse dringen kann. Für diesen Zweck ist diese Büchse eben so eingerichtet und zusammengesetzt, wie dieses bei der Beschreibung der Preßpumpenkolben, und bei denen der Dampfmaschinen angegeben werden soll.

Der Cylinder communicirt mit der äußern Luft durch zwei rechtwinklige kurze Röhre I und K, die unten und oben an denselben angesetzt sind. Diese

Röhren enthalten zwei nach einwärts spielende Ventile a und b, welche aus eisernen Platten bestehen, mit Rindsleder überzogen sind und sich in Scharnieren von demselben Leder drehen; sie werden aufwärts bewegt; das Ventil a ist geöffnet, und das Ventil b ist geschlossen dargestellt. Durch zwei andere Röhren L und M, versehen mit zwei ähnlichen Ventilen c und d communicirt der innere Raum des Cylinders über und unter dem Kolben mit einer verschlossenen Kammer E, aus welcher unten oder zur Seite (je nachdem örtliche Umstände dieses erheischen) eine Röhre F G nach einem horizontalen, weiten und langen Cylinder H läuft (in der Figur ist derselbe nur im Durchschnitt dargestellt), welcher aus gewalzten eisernen Platten construirt ist, die überall fest auf einander genietet und überall luftdicht verschlossen sind.

Aus diesem Cylinder, welcher den Namen des Recipienten oder des Windregulators führt, laufen eine oder mehrere Röhren in zweckmäßigen Richtungen bis an die Mündungen des Ofens oder der Oefen, in welche die sogenannte Düse P gelegt wird. Es sind diese Düsen mit den Leitungsröhren N O verbunden durch eine lederne Röhre e f. Q ist ein vertikales Ventil oder ein Hahn, welcher mittelst eines Schlüssels g h außerhalb der Röhre N O umgedreht werden kann, um die Communication zwischen der Röhre N O und der Röhre P nach Erforderniß öffnen oder schließen zu können. Man nennt diesen Hahn den Windhahn durch eine Röhre i k, welche oben geschlossen, jedoch mit einer seitenständigen offenen Röhre l versehen ist, kann der Recipient H mit der äußern Luft communiciren, und diese Communication wird abgesperrt durch ein Ventil m, welches durch ein Gewichtchen q gedrückt wird, das an einem Hebel der zweiten Art o p

hängt; dieser Hebel dreht sich bei o und hält bei n die Spindel des Ventiles m. Von den Eigenthümlichkeiten der Theile dieses Werkzeuges kann jetzt keine nähere Erwähnung gemacht werden, außer daß die Ventile a und b an großen Gebläsen nicht an der Seite angebracht sind, sondern im Boden D, und im Deckel A B. Man findet dann auch nicht zwei solche Klappen, sondern auf jeder Fläche A B und C D befinden sich deren drei. Im Allgemeinen ist diese letzte Einrichtung besser, als die in der Figur dargestellte.

Die Wirkung der Maschine ist leicht zu begreifen; denn nimmt man an, daß die Luft in der Maschine überall dieselbe Dichtheit habe, und daß der Windhahn Q geschlossen sey, so muß, wenn der Kolben z. B. niedergeht, die unter demselben befindliche Luft zusammengedrückt werden. Dieser Druck wirkt auf die Ventile d und b, von welchen letzteres nothwendig geschlossen wird und geschlossen bleibt, während ersteres d aufgedrückt wird und die Luft, die durch den Kolben verdrängt wird, austreten läßt, welche Luft sich alsdann im Recipienten H vertheilt. Während der Kolben niedergeht, wird die wenige Luft über demselben in einen größern Raum vertheilt; sie wird dünner, leichter, weniger dicht und weniger elastisch, als die äußere Luft, so daß diese das Ventil a öffnen und in den Cylinder über dem Kolben strömen wird, so daß, wenn der Kolben niedergegangen ist, der Cylinder über demselben wieder mit Luft gefüllt seyn wird, worauf dann das Ventil d durch eigne Schwere wieder sich schließen wird. Mittlerweile bleibt das Ventil c geschlossen, weil der Druck der Luft E auf dieses Ventil größer ist, als der Druck der Luft auf den Kolben. Wenn der Kolben steigt, so findet eine ähnliche Wirkung statt, so daß bei jedem Auf- und

Niedergang, oder bei jedem Hub und Schub des Kolbens in den Recipienten eine Quantität Luft gepumpt wird, derjenigen gleich, welche der Kolben verdrängt, und diese Quantität ist gleich dem Inhalte der Oberfläche des Kolbens, multiplicirt mit der Länge seines Zuges.

Oeffnet man nun, wenn die Luft im Recipienten bis zu einem hinlänglichen Grade verdichtet ist, den Windhahn Q, so wird Luftausströmung durch die Windröhre P stattfinden, und soviel jedesmal ausströmt, soviel wird jedesmal eingepumpt. Wäre kein Recipient vorhanden, so würde zwar auch eine Luftausströmung von gleicher Quantität stattfinden, aber diese Ausströmung würde nicht nur unregelmäßig seyn, sondern beinahe ganz aufhören, während sich die Richtung der Bewegung des Kolbens verändert. Bedient man sich dagegen eines Recipienten, dessen Inhalt einigemal größer ist, als derjenige des Cylinders, so wird, wenn die Luft in demselben hinlänglich verdichtet ist, die Ausströmung nicht unterbrochen werden durch die Veränderung der Richtung der Bewegung, auch nicht bei einer unregelmäßigen Bewegung des Kolbens. Diese Ausströmung dauert in einem sehr regelmäßigen Grade fort, weil bei dem größern Inhalt von H alsdann die Dichtheit der Luft in H vom Cylinder wenig Veränderung erfahren kann, wenn das Einpumpen der Luft einmal mehr oder einmal weniger regelmäßig ist.

Sollte auch durch eine zufällig beschleunigte Bewegung des Kolbens mehr Luft innerhalb einer gewissen Zeit eingepumpt werden, als in irgend einem andern Augenblick, so daß diese Luft mit Gewalt durch die Düse P zu entweichen strebt, so würde dadurch die Geschwindigkeit des ausströmenden Windes beträchtlich vergrößert werden, d. h.

viel größer werden, als es in Folge der größern Spannung der Luft H in Bezug auf die äußere Luft möglich ist; aber diese Unregelmäßigkeit wird nur von äußerst kurzer Dauer, ja beinahe nicht der Erwähnung werth seyn. Denn zuerst wird eine mehr als gewöhnliche oder bestimmte Quantität eingepumpter Luft im großen Recipienten H gleichförmig vertheilt, und die Dichtheit der Luft erfährt deshalb so schnell keine merkliche Veränderung; und zum andern würde eine zu große Spannung auch sogleich auf das Ventil m ausgeübt werden, und nachdem dieses geöffnet worden, würde das Uebermaß der Luft sogleich aus der Röhre l getrieben und deshalb nicht genöthigt werden, seinen Ausweg durch die Düse zu nehmen; denn der Druck des Gewichtes q auf das Ventil m ist so eingerichtet, daß das Ventil m geöffnet wird, sobald die Luft im Recipienten mehr verdichtet ist, als der ausströmenden Quantität Luft entsprechend im voraus bestimmt ist. Der Recipient H ist dann ein wesentlicher Windregulator, da ohne denselben der Wind sehr unregelmäßig aus der Röhre P geblasen werden würde, was auf den Effect, der durch das Feuer erreicht werden soll, einen sehr nachtheiligen Einfluß haben muß.

Um nun zur Auflösung der gestellten Frage zu gelangen, so bemerke man, daß der Wind, welcher aus der Röhre P geblasen wird, im Feuer einem Widerstande begegnet, nicht viel geringer als der Druck der Atmosphäre welche unmittelbar aufs Feuer drückt. Muß die Flamme durch einen hohen Schornstein getrieben werden, so wird die Luft in diesem Schornsteine durch die Hitze des Feuers verdünnt werden, und der Widerstand gegen die Düse wird dann geringer werden, als in dem erwähnten Falle (wie man aus dem zweiten Beispiel des Art. 51

entnehmen kann). Man nehme deshalb im Allgemeinen an, daß der Widerstand gegen die Düse gerade gleich ist dem Druck der Atmosphäre, so findet der Ausfluß statt, wegen der größern Spannung der Luft im Recipienten II, im Vergleich mit der äußern Luft, und es ist deshalb die Formel (3) des Art. 49, nämlich

$$s = 16{,}333 \sqrt{\left\{\frac{H(D - d)}{D^2}\right\}},$$

welche hier angewendet werden muß. Die Spannung der Luft im Recipienten ist in der Aufgabe angegeben zu 1,4 Pfund auf jeden niederländischen Quadratzoll; berechnet man die Höhe einer Quecksilbersäule von 1 niederländischen Quadratzoll Basis und einer Schwere von 1,4 Pfund, so wird man finden, daß diese Säule eine Höhe von 1,03 Ellen haben müsse. Dieses ist der Werth von H; d ist die Dichtheit der äußern Luft = 0,001299 (wenn man nämlich die Dichtheit oder specifische Schwere des Wassers = 1 setzt), mit welcher ein Druck übereinstimmt, der eine Quecksilbersäule von 0,76 Ellen Höhe trägt. Hierdurch kann nun die Dichtheit D gefunden werden, denn da die Dichtheiten sich verhalten wie die Spannkräfte, oder wie die Höhen der Quecksilbersäulen, mit welchen die Spannkräfte das Gleichgewicht herstellen, so hat man

$$0{,}76 : 1{,}03 = d : D$$

und $D = \frac{1{,}03 \cdot d}{0{,}76} = 1{,}358 \cdot d;$

folglich wird

$$\frac{D - d}{D^2} = \frac{1{,}358 \cdot d - 1 \cdot d}{(1{,}358)^2\, d^2} = \frac{0{,}358 \cdot d}{1{,}8442\, d^2}$$

$$= \frac{0{,}358}{1{,}8442\ d} = \frac{0{,}358}{1{,}8442 \times 0{,}001299} = 149{,}48.$$

Setzt man nun dieses und den Werth von H in die Formel, so wird sie

$$s = 16{,}333 \sqrt{1{,}03 \cdot 149{,}48} = 16{,}333 \times 12{,}414 = 203 \text{ Ellen beinahe.}$$

Und dieses ist die Geschwindigkeit in der Secunde, mit welcher der Wind ins Feuer geblasen wird. Hat nun die Düse eine Oeffnung von z. B. 8 Quadratzollen, d. h. eine Weite von beinahe $2\frac{1}{2}$ Zoll, so werden, ohne die Wirkung der Zusammenziehung in Anschlag zu bringen, in jeder Secunde $16\frac{1}{4}$ Kubikpalmen Luft ausgetrieben, was in 1 Minute 975 Kubikpalmen ausmacht. Da jedoch diese Luft eine Dichtheit von 1,358 d besitzt, und sogleich bei der Ausströmung die erste oder ursprüngliche Dichtheit wieder annimmt, so muß die Quantität von 0,975 Kubikellen im Verhältnisse von 1 zu 1,358 vermehrt werden, was dann eine Quantität gibt von $0{,}975 \times 1{,}358 = 1{,}324050$ Kubikellen.

Man kann die Wirkung, d. h. das Ergebniß eines Gebläses von gegebenen Dimensionen immer leicht berechnen, ohne daß man nöthig hat, die Spannung der Luft im Recipienten zu kennen, denn soviel Luft durch den Kolben bei jedem Zug in den Recipienten gepumpt wird, eben soviel muß durch die Düse ausströmen. Wenn z. B. der Kolben ZZ eine Oberfläche von $\frac{1}{4}$ niederländische Elle im Quadrate besitzt, und bei jedem Zuge einen Raum von 1 Elle durchläuft, ferner 60 Züge in der Minute vollbringt, so wird in 1 Minute durch denselben eine Quantität von 15 Kubikellen verdrängt. Diese Quantität wird jedoch nicht vollständig in den Recipienten gepumpt, denn es geht mehr oder weniger Luft zwischen dem Kolben und der Wand des Cylinders immer durch, so wie auch durch die Zwischenräume der Ventile; auch sinkt und steigt der

Kolben nicht genau bis auf den Boden CD und bis zum Deckel AB, und die Luft wird deshalb in den übrig bleibenden Raum zusammengedrückt, entweicht aber nicht durch die Ventile c und d. Man rechne, daß durch einen und den andern Umstand ein Verlust von $\frac{1}{5}$ entsteht, so daß die obigen 15 Kubikellen auf 12 Kubikellen in der Minute reducirt werden.

Durch eine Düse, wie oben erwähnt worden, strömen in der Minute beinahe $1\frac{1}{3}$ Kubikellen, so daß man 9 Düsen anwenden muß oder kann, um diese 12 Kubikellen in der Minute auszutreiben. Kann man nun nur 3 Düsen anwenden und hat man für einen gewissen Heerd oder Ofen dennoch 12 Kubikellen Luft in der Minute nöthig, so denke man nicht, daß, ohne die Weite der Düsen zu vergrößern, die Luft im Recipienten zu einer solchen größern Spannung gebracht werden müsse, daß dadurch allein 12 Kubikellen in der Minute durch drei Düsen ausgeströmt werden; denn um wieviel die Spannung zunimmt, um eben soviel nimmt auch die Dichtheit der Luft im Recipienten zu, und die Zunahme der Ausströmungsgeschwindigkeit wächst dagegen nur langsam. In diesem Falle ist es die Bewegung des Kolbens allein, welche mit Gewalt die Luft durch die Röhren treibt, und es muß dabei dann das Ventil m des Recipienten um soviel mehr beschwert werden, damit es durch diese starke Austreibung und Zusammendrückung der Luft nicht geöffnet werden könne.

Es ist jedoch mit dieser Art der Wirkung kein Vortheil, sondern sogar ein großer Nachtheil verbunden; denn die Quantität Luft, welche durch die freie Wirkung der Luft im Recipienten nicht in der erforderlichen Quantität durch die Düsen gehen kann, muß durch den Kolben ausgetrieben werden, und dieses kostet viel Kraft, wegen des großen Wider-

standes, den die Luft bei einer starken Bewegung durch enge Röhren darbietet; besser ist es dann immer, die Düsen zu erweitern, oder die Zahl derselben zu vermehren, wenn man darin durch keine Umstände beschränkt ist.

In der oben stehenden Berechnung ist nicht Rücksicht genommen worden auf die Wirkung der Zusammenziehung des ausgetriebenen Luftstromes, und eben so wenig auf den Widerstand der Bewegung der Lufttheile durch die engen Röhren, besonders durch die Windröhren. Diese beiden Umstände müssen eine große Verminderung in der Ausströmungsgeschwindigkeit verursachen, wenn die Luft nicht durch die auf den Kolben wirkende Kraft eingepumpt würde. Aber während der Kolben Luft einpumpt und die Communication zwischen der Luft im Cylinder und im Recipienten geöffnet ist, werden oben genannte Verluste durch die Bewegung des Kolbens ersetzt. Dieser nöthigt die Luft in gleicher Quantität aus den Düsen zu strömen, in welcher sie in den Recipienten eindringt, und der Widerstand der Reibung der Lufttheile sowohl an einander, als an den Wänden der Röhren, durch welche sie getrieben wird, wird mit einemmal durch die bewegende Kraft, die den Kolben forttreibt, überwunden.

Die hauptsächlichsten Widerstände, welche durch die bewegende Kraft, die auf den Kolben einer Gebläspumpe wirkt, überwunden werden müssen, sind (außer derjenigen der Trägheit der bewegten mechanischen Theile):

1) Die Reibung des Kolbens oder Embolus an den Wänden des Pumpenstiefels; die Größe dieses Widerstandes kann man nach den Grundsätzen des folgenden Kapitels und aus der Abhandlung über die Dampfmaschinen hinlänglich beurtheilen.

2) Der Widerstand der zu verdrängenden Luft an der einen Seite des Kolbens, welcher gleich ist dem Ueberdruck der Luft im Recipienten über die äußere Luft; denn, wenn z. B. der Kolben niedersteigt und also die Ventile d und a geöffnet sind, so strömt die äußere Luft durch das Ventil a in den Cylinder und drückt den Kolben von oben, während die Luft im Recipienten, welche mit der Luft unter dem Kolben communicirt, dieser ihre Spannung mittheilt, und also von unten gegen den Kolben drückt; um wieviel größer die Spannung der Luft im Recipienten als diejenige der äußern Luft ist, welche auf die entgegengesetzte Seite des Kolbens drückt, soviel Widerstand hat die Kraft zu überwinden. In dem oben gegebenen Beispiele beträgt dieser Widerstand also beinahe 4 Unzen auf jeden Quadratzoll, was auf eine Oberfläche von 0,25 Quadratellen einen Widerstand gibt von $400 \times 25 = 10000$ Unzen $= 1000$ Pfund.

3) Der Widerstand der Reibung der Luft an den Wandungen der Ventile, Röhren und Düsen, durch welche sie dringen muß. Dieser Widerstand ist, wie gering er auch erscheinen möge, immer ansehnlich; er nimmt zu mit der Verengerung der Ventile und Röhren, und es scheint, daß diese Vermehrung stattfinde in dem umgekehrten Verhältnisse der Kubikwurzeln der Durchmesser der Oeffnungen, oder der Weite der Röhren; aber es sind nicht hinlängliche Versuche angestellt worden, um dieses Gesetz mit Zuverlässigkeit anwenden zu können. Ferner nimmt der Widerstand mit der Geschwindigkeit der Bewegung zu, aber es ist nicht recht bekannt, auf welche Weise, doch scheint sich aus einigen wenigen angestellten Versuchen die Folgerung zu ergeben, daß dieses Verhältniß geringer ist, als dasjenige des

Quadrates der Geschwindigkeiten, wenn die Luft durch Röhren strömt und beinahe proportional ist der einfachen Geschwindigkeit, indem sie nur durch eine Oeffnung, z. B. durch diejenige eines Ventiles getrieben wird. Endlich nimmt der Widerstand auch mit der Länge der Röhren zu, wenn die Luft mit derselben Geschwindigkeit durch Röhren von verschiedener Länge durchströmen muß; aber hier fehlt es wieder an hinlänglichen Versuchen, um mit einiger Sicherheit, oder sogar mit einiger Wahrscheinlichkeit das Maß dieser Vermehrung beurtheilen zu können. Es hat sich nur ergeben, daß die Zunahme des Widerstandes, oder die Abnahme der Geschwindigkeit in einem größern Verhältniß erfolgt, als dasjenige ist, in welchem die Röhren an Länge zunehmen, und auch in einem größern Verhältnisse als demjenigen der Quadratwurzeln aus den Längen der Röhren.

Es folgen hier einige Angaben, welche als die Resultate angestellter Versuche mitgetheilt werden.

a) Angenommen, die Luft werde durch eine runde Oeffnung von 4 Zoll gepreßt; der Cylinder oder Pumpenstiefel habe einen innern Durchmesser von 29,83 Zoll, und die Länge des Zuges beträge 85 Zoll, so wird die Kraft, welche erforderlich ist, um die im Cylinder befindliche Luft auszutreiben, einen Druck ausüben müssen von 10 Pfund, während der Kolben in $1\frac{1}{2}$ Secunde seinen Zug vollbringen muß, so daß die Geschwindigkeit beinahe 57 Zoll beträgt. Die Kraft muß über dieses noch die Reibung des Kolbens überwinden, welche nicht unter den oben erwähnten 10 Pfunden begriffen ist. Muß die Luft durch dieselbe Oeffnung mit größerer Geschwindigkeit getrieben werden, so wächst auch die Kraft zugleich mit der Geschwindigkeit, und für eine geringere Geschwindigkeit nimmt sie ebenfalls mit

der Geschwindigkeit zugleich ab. Mit der Vergrößerung der Oeffnung nimmt auch die Geschwindigkeit zu, jedoch in einem kleinern Verhältnisse, als in welchem die Vergrößerung der Oeffnungen stattfindet.

b) Wenn an die Oeffnung des Cylinders eine Röhre gesetzt ist von 2½ Zoll Durchmesser, und mit einem Knie, welches bis auf eine Länge von 11½ Elle horizontal fortläuft, so wird eine Kraft, welche 10 Pfund Druck ausübt, den Kolben in keiner kürzern Zeit, als in 14 Secunden seinen Zug von 85 Zoll vollenden lassen können, um die Luft aus dem Cylinder zu treiben, während noch nicht einmal 8 Secunden erforderlich sind, um dieselbe Quantität Luft durch eine Oeffnung von 20¼ Zoll Durchmesser zu bewegen.

Aber wenn man der ausströmenden Luft größere Geschwindigkeit mittheilen will, so muß die Kraft eher im Verhältnisse des Quadrates der Geschwindigkeit, als im Verhältnisse der einfachen Geschwindigkeit zunehmen. Aus einigen Versuchen hat sichs ergeben, daß, wenn man die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft durch eine Röhre von gewisser Länge l strömt, = 1 nimmt, und den Widerstand, welcher für diesen Zweck durch eine bewegende Kraft überwunden werden muß, ebenfalls = 1 setzt, daß dann eine Vergleichung der Quadrate verschiedener Geschwindigkeiten mit den Größen der Widerstände die folgenden Zahlen liefert:

Wenn das Quadrat der Geschwindigkeit ist:

1,00; 1,64; 2,40; 3,25; 4,32; 4,55;

so werden die Widerstände seyn:

1,00; 1,82; 2,71; 3,42; 4,27; 4,64.

Und wenn die Geschwindigkeit dieselbe bleibt wie in der Röhre, welche die Länge l besitzt, so wird, wenn die Länge der Röhren beträgt

1,00 l; 1,33 l; 1,67 l; 2,00 l; 2,33 l; 2,70 l; 5,05 l; 5,22 l;

der Widerstand werden

1,00; 1,29; 1,57; 1,82; 2,16; 2,46; 2,84; 3,09.

Der Widerstand nimmt also in einem geringern Verhältnisse, als die Länge der Röhren zu, aber das bestimmte Gesetz, nach welchem dieses geschieht, ist unbekannt. So verhält es sich auch beinahe mit den meisten der oben erwähnten andern Fälle, und man bedarf zu einer genauen Berechnung noch immer des Lichtes der Erfahrung. Die Röhren, durch welche die Luft strömen soll, so kurz und zugleich so weit als möglich zu nehmen, und sie mit so wenig Knieen als möglich zu verlängern, ist alles, was man auf eine allgemeine und auf eine specielle Weise festsetzen kann, um eine bestimmte Wirkung der ausströmenden Luft mit der geringsten Kraft herzustellen.

§. II.

Regeln, um die Geschwindigkeit der Strömung einer tropfbaren Flüssigkeit, oder einer elastischen Flüssigkeit durch eine andere elastische Flüssigkeit zu bestimmen, die man von gleicher Dichtheit betrachten kann.

51) Die im vorigen Paragraph abgehandelten Fälle müssen aufs Sorgfältigste unterschieden werden von einem besondern Falle der Strömung einer tropfbaren Flüssigkeit, oder einer elastischen Flüssigkeit in oder durch eine andere Flüssigkeit von geringerer Dichtheit, welcher in der Praxis häufig vorkommt und den man am besten kennen und von den vorhergehenden Fällen durch die zwei folgenden Beispiele unterscheiden lernt.

a) Mit welcher Geschwindigkeit wird das Wasser, welches in einem Gefäß Fig. 31.

in der Höhe H über dem Boden steht, aus einer horizontalen Oeffnung cd in die Luft ausfließen?

Die Oberfläche des Wassers AB wird gedrückt durch die atmosphärische Luft; eben so auch das Wasser, welches bei cd aus der Oeffnung fließt; aber die letzte drückende Luftsäule hat eine größere Druckhöhe als die erstere, gleich der vollen Höhe AC = BD = H, bis zu welcher das Wasser im Gefäße steht. Es ist also eben so gut, als ob die gleichen Säulen, welche auf die unbestimmt verlängerte Fläche ABE drücken, weggedacht werden, und als ob die Luft um das Gefäß von B und A bis an D und C allein bestände. Diese Säule kann man immer so betrachten, als ob sie überall eine gleiche Dichtheit d besäße. Das Wasser wird folglich am Ausströmen behindert, oder die Geschwindigkeit desselben vermindert durch die umgebende Flüssigkeit (die man nun nicht als elastisch betrachten darf), welche die gleiche Dichtheit d besitzt, und aus der Höhe A auf die Ausströmungsmündung drückt. Es wird nun verlangt, diese Abnahme der Geschwindigkeit zu bestimmen.

Es sey die Dichtheit des Wassers = 1 und diejenige der Luftsäule, welche das Gefäß umgibt, = 0,001299; wenn nun der Druck der ganzen Wassersäule auf irgend einen Punkt = H ist, so wird der Druck der Luftsäule auf einen dergleichen Punkt = $0{,}001299 \cdot H$ seyn; also kann letztere Zahl als die Höhe einer Wassersäule betrachtet werden, welche dem Ausflusse des Wassers aus der Oeffnung cd entgegensteht. Der Ausfluß wird deshalb stattfinden in Folge des Druckes einer Wassersäule, welche nicht H, sondern $H - 0{,}001299 \cdot H = H\,(1 - 0{,}001299) = 0{,}998701 \cdot H$ zur Höhe

hat. Die Ausströmungsgeschwindigkeit, welche anders bestimmt wird durch die Formel

$$4{,}429 \sqrt{H},$$

muß nun berechnet werden durch die Formel

$$s = 4{,}429 \sqrt{H \cdot 0{,}998701} = 4{,}429 \sqrt{0{,}998701} \times \sqrt{H} = 4{,}429 \cdot 0{,}999 \cdot \sqrt{H} = 4{,}425 \sqrt{H} \; \ldots\ldots\ldots \; (1)$$

Die Differenz zwischen dieser Geschwindigkeit und derjenigen, welche im luftleeren Raume stattfinden würde, ist deshalb gering, wie sich auch schon von selbst leicht folgern läßt; in der Praxis kann man sie über dieses um so eher vernachlässigen, weil sie einigermaßen in der durch Versuche bestimmten Quantität der Zusammenziehung des Wasserstrahles mit enthalten ist, welche wegen des Widerstandes der Luft größer ist, als sie im luftleeren Raume seyn würde.

b) Mit welcher Geschwindigkeit wird die äußere Luft in einen Schornstein von 20 Ellen Höhe strömen, wenn die Luft im Schornstein durch das Feuer bis auf den Grad erwärmt und leichter geworden oder ausgedehnt ist, daß ihre Dichtheit $\frac{1}{10}$ weniger, als die Dichtheit der äußern Luft beträgt?

Die Luft, welche über dem Schornstein auf die erwärmte Luft in demselben drückt, drückt auch mit einer gleichen Kraft auf die Säule äußerer Luft, welche die Höhe des Schornsteines zur Höhe hat und denselben umgibt. Denkt man sich diese beiden gleichen Drucke weg, so bleiben zwei gleiche Luftsäulen übrig, die eine im Schornstein, die andere außer dem Schornstein, und jede eine Höhe von 20 Ellen habend. Für diese Höhe kann man ohne merklich zu irren, annehmen, daß die Lage der äußern Luft

eine gleichförmige Dichtheit besitzt, und dieses kann auch für die Luftsäule im Schornstein angenommen werden, so daß man diese Luftsäulen nicht auf andere zu reduciren braucht, die als unelastisch betrachtet, überall eine gleiche Dichtheit besitzen, wie dieses in den Fällen der vorhergehenden Paragraphen geschieht. Der Druck der äußern Luftsäule von 20 Ellen Höhe wird dann seyn $= 20 \cdot d$, wenn man die Dichtheit derselben d. i. z. B. das Gewicht von von 1 Kubikelle d nimmt, und da die Luft im Schornstein $\frac{1}{10}$ leichter ist, so wird z. B. 1 Kubikelle Luft im Schornstein nur $\frac{9}{10}$ dessen wiegen, was eine gleiche Quantität äußerer Luft wiegt. Der ganze Druck der Luft im Schornstein ist also $= 20 \times \frac{9}{10} d = 18 \cdot d$; d. h. wenn die Luft im Schornstein von 20 Ellen Höhe zusammengedrückt würde bis auf 18 Ellen Höhe, so würde sie eine gleiche Dichtheit mit der Außenluft haben. Die Differenz dieser Druckhöhen ist 2 Ellen, und mit dieser größern Höhe drückt alsdann die äußere Luft; folglich wird die Geschwindigkeit des Einströmens diejenige seyn, welche eine Flüssigkeit von gleicher Dichtheit (die unelastisch ist) bei ihrer Ausströmung unter einer Höhe von 2 Ellen besitzt, während diese Höhe im gegenwärtigen Falle wegen des unaufhörlichen Zuflusses der Luft nicht abnimmt. Man hat deshalb

$$s = 4{,}429 \sqrt{2} = 4{,}429 \cdot 1{,}414 = 6{,}263 \text{ Ellen.}$$

Hat der Schornstein nun einen Durchschnitt von 0,25 Quadratellen, so strömt in 1 Secunde durchs Feuer eine Quantität von 1,566 Kubikellen Luft, also in 1 Minute an 94 Kubikellen.

Man kann hieraus entnehmen, daß ein Schornstein, welcher übrigens gehörig eingerichtet und construirt ist, um so besser zieht, je höher derselbe ist.

Bei der Betrachtung der Einrichtung und Construction der Dampfmaschinen soll dieser Gegenstand specieller und genauer auseinander gesetzt werden.

§. III.

Ueber den Widerstand der Luft.

52) Den Widerstand der Luft hat man auf zweierlei Weise zu unterscheiden; denn es gibt vorerst einen Widerstand, den ein Körper erfährt, der mit einer gewissen Geschwindigkeit durch die Luft bewegt wird; ferner einen Widerstand, den ein Körper darbietet, wenn er von einem Luftstrome gestoßen wird, mag nun dieser Körper gegen einen ruhenden, oder gegen einen bewegten Körper anstoßen. In beiden Fällen kann dieser Widerstand der Bewegung eines Werkzeuges sehr nachtheilig seyn, aber man kann auch von ihm, oder von seinem Effect einen großen Nutzen ziehen. So leisten die Windflügel und die Luftfänge oder Ventilatoren allein eine nützliche Wirkung durch den Widerstand, dem diese mechanischen Theile bei ihrer Bewegung durch die Luft begegnen und welche eine mächtige Wirkung die bewegte Luft zum Treiben von Maschinen darbietet, ist jedermann bekannt.

Man kennt das Maß des Widerstandes der Luft für jeden besondern Fall noch nicht.

Wird ein Körper in der Luft bewegt, so hängt die Größe des Widerstandes ab von der Form und von der specifischen Schwere des Körpers, aber besonders auch von der Geschwindigkeit der Bewegung. Für ähnliche Körper, oder auch für denselben Körper wird der Widerstand proportional seyn dem Quadrate der Geschwindigkeit, wie dieses der Fall ist bei der Bewegung eines Körpers in einer Flüssigkeit. Der Widerstand wächst deshalb am meisten

an, wenn die Geschwindigkeit der Bewegung eines Körpers zunimmt. Derselbe Widerstand muß dann auch eine große Abnahme der Geschwindigkeit erzeugen, mit welcher ein Körper in der Luft bewegt wird, wie dieses z. B. der Fall ist mit einer geworfenen Kugel. Wird ein Körper in der Luft bewegt, so verdrängt derselbe die Lufttheile vor sich, während der Raum, den er zuvor einnahm, oder derjenige, den er hinter sich läßt, durch die hinten und zur Seite gelegenen Lufttheile sogleich ausgefüllt wird; jedoch geschieht dieses nicht für jede Geschwindigkeit des Körpers gleich schnell, denn da die Lufttheile bei einer freien Strömung in einem luftleeren Raum eine größere Bewegungsgeschwindigkeit als 395 Ellen (siehe Art. 47) erlangen können, so muß ein Körper, welcher für einige Augenblicke seiner Bewegung eine größere Geschwindigkeit, als 395 Ellen besitzt, einen Raum hinter sich lassen, welcher zwar nicht ganz luftleer, jedoch mit einer Luft von viel geringerer Dichtheit, als diejenige der Luft angefüllt ist, welche vor dem Körper sich befindet, weil die Lufttheile dann dem bewegten Körper gewissermaßen nicht folgen können, sondern hinter demselben bleiben. In solchem Falle wächst der Widerstand an der vordern Seite des Körpers in einem größern Verhältnisse, als in dem Q u a d r a t e d e r G e s c h w i n d i g k e i t, wie es wahrscheinlich ist, daß dieses bei sehr großen Geschwindigkeiten, die unter 395 Ellen betragen, auch einigermaßen der Fall seyn möge, weil die vor dem Körper angehäufte Luft zusammengedrückt und verdichtet wird, und eine bedeutend größere Dichtheit erlangt, als die hinter dem Körper von den Seiten zufließende Luft. Wird die Luft mit einer gewissen Geschwindigkeit gegen eine ebene Fläche bewegt (die wir im Zustande der Ruhe annehmen wollen) so daß die Richtung der Bewe-

gung mit dieser Fläche einen rechten Winkel bildet, so lehrt die Erfahrung, daß die Quantität des Widerstandes ziemlich nahe proportional ist der Extension der Oberfläche und dem Quadrate der Geschwindigkeit der Luftströmung. Aber wenn der Winkel, den die Richtung der Bewegung mit der Fläche bildet, kleiner als 90° ist, so existiren zwischen den gefundenen Quantitäten des Widerstandes und denen, welche aus der Zerlegung des rechtwinkligen Widerstandes entstehen müssen, solche unregelmäßige Verschiedenheiten, daß man aus denselben kein einfaches oder für die Praxis geeignetes Verhältniß zwischen rechtwinkligem und schrägem Stoß eines Luftstromes ableiten kann. Sicherlich weiß man, und dieses muß auch aus der Natur der Sache sich ergeben, daß die Quantität des Widerstandes kleiner ist bei einem schrägen, als bei einem rechtwinkligen Stoß, und es ist von Nutzen, diese Bemerkung im Auge zu haben bei der Bildung und Einrichtung der Theile einer Maschine, welche schnell bewegt werden müssen. Uebrigens soll über den schrägen Stoß der Luftströmungen bei der Betrachtung der Windmühlen näher gehandelt werden.

Bei einem geradlinigen Stoß eines Luftstromes gegen eine Oberfläche von 1 Quadratelle mit einer Geschwindigkeit von 1 Elle wird der Effect des Stoßes auf diese Fläche beinahe gleich seyn dem Drucke von 0,1112 niederländischen Pfunden (wie Erfahrungen gelehrt haben) und hieraus läßt sich denn ziemlich genau berechnen, welches das Maß des Widerstandes auf größern und kleinern Oberflächen sey, die von Luftströmen von größerer oder kleinerer Geschwindigkeit als 1 Elle gestoßen werden. Wenn z. B. die Oberfläche 0,0075 Quadratellen beträgt, und die Geschwindigkeit der Luftströ-

mung 250 Ellen, so wird der Widerstand gefunden werden durch die Proportion:

Der Widerstand 0,1112 verhält sich zum Widerstande x, wie die Oberfläche 1 Quadratelle, multiplicirt mit dem Quadrate der Geschwindigkeit 1 Elle zur Oberfläche 0,0075 Quadratellen, multiplicirt mit dem Quadrate der Geschwindigkeit von 250 Ellen, das ist

$0{,}1112 : x = 1 \cdot 1^2 : 0{,}0075 \cdot (250)^2$

und $x = 0{,}1112 \cdot 0{,}0075 \cdot 62500 = 521{,}25$ Pfund.

Wenn deshalb die Luft mit einer Geschwindigkeit von 250 Ellen in die Mündung eines Geschützes dringt, in dem Augenblicke, wo dasselbe abgefeuert worden ist, und wenn man den Raum der Kanone als ziemlich nahe luftleer betrachten kann (Art. 49), so kann man die Erschütterung vergleichen mit einem plötzlichen Druck von reichlich 400 Pfund (angenommen nämlich, die Oberfläche der Mündung zu $\frac{3}{4}$ Quadratpalmen = 0,0075 Quadratellen, und den Gegendruck der Luft auf den Pulversack oder den hintern Theil des Geschützes zu 1 Pfund auf den Quadratzoll), welcher Druck mehr als ausreichend ist, das Geschütz auseinander zu sprengen.

Fünftes Kapitel.

Ueber die Pumpen.

53) Eine Pumpe ist ein Werkzeug, welches dazu dient, um das Wasser von einem tiefern Ort auf einen höher gelegenen Punkt zu heben. Die Erklärung der Einrichtung und Wirkung nebst der

Angabe der gehörigen Formen und Größe der Theile dieses nützlichen Werkzeuges (dessen Erfindung sich wahrscheinlich schon 100 Jahre vor dem Anfang unserer Zeitrechnung herschreibt) finden hier für die Anwendung der vorhergehenden Grundsätze einen schicklichen Ort; so wie auch diese Erklärung und Erläuterung zum Verständniß desjenigen, was bei Gelegenheit der Dampfmaschinen gesagt werden soll, nothwendig gegeben werden muß. Wir wollen indessen hier nicht speciell handeln über die sehr verschiedenen Arten, wie man Pumpenwerke mit mehr oder weniger gutem Erfolg eingerichtet hat, noch auch über die besondern Fälle, in welchen man diese Werkzeuge anwenden kann oder muß, und nach Erforderniß der Umstände ihnen sogar eine besondere Einrichtung zu geben hat; denn eine solche ausführliche Entwickelung würde allein sich nöthig machen, wenn dieses Kapitel einen Theil ausmachte von einer besondern Schrift über die Wassermaschinen.

Man nennt gewöhnlich dreierlei Arten von Pumpen, nämlich Saugpumpen, Druckpumpen und Hebepumpen, welche letztere nur eine besondere Art der Saugpumpen sind. Alle Pumpen, die es nur gibt, oder die man noch erdenken wird, sind nur Modificationen oder Verbindungen der drei erwähnten Arten. Von diesen erwähnten Arten wollen wir deshalb kürzlich erklären, wie sie eingerichtet sind und wirken; welche Kraft erforderlich ist, um sie in Bewegung zu setzen, und mit ihnen eine bestimmte Wirkung hervorzubringen; wie sie gegenseitig mit einander verbunden werden können, um eine regelmäßigere Wirkung zu gewähren, als wenn sie isolirt wirken; welches die zweckmäßigsten Einrichtungen, Formen und Dimensionen der verschiedenen Bestandtheile seyn müssen, oder seyn können u. s. w.

§. 1.

Ueber die Einrichtung, über die Thätigkeit und über den Effect der Saug-, Druck- und Hebepumpen.

54) Saugepumpen. Eine Saugpumpe ist der Hauptsache nach aus den folgenden Theilen zusammengesetzt:

1) Aus einer geraden oder gebogenen Röhre AB Fig. 51 Nr. 1, das Saugrohr genannt, welches unter der Oberfläche des zu hebenden Wassers cd steht, unten trichterartig sich ausmündet, damit der Zufluß des Wassers mit der geringsten Zusammenziehung stattfinde, und daselbst auch meistens noch mit einem Sieb ab oder einem Beutel versehen, damit das Wasser ohne alle fremde Substanzen oder Stoffe, wie z. B. Sand, Erde, Meerlinsen u. s. w. durchdringe. Das Saugrohr ist mit einem weitern Rohr CD, der Pumpenstiefel genannt, verbunden (man nennt es auch wohl das stehende Stück einer Pumpe). Wo die Saugröhre mit dem Pumpenstiefel verbunden ist, ist die erstere durch ein Ventil f verschlossen, welches sich in den einfachsten Fällen um ein ledernes Scharnier, das zwischen die beiden Röhren geschraubt ist, von unten nach oben aufschlägt. Die Stelle A, wo dieses Ventil angebracht ist, wird das Herz der Pumpe genannt, oder man nennt auch dieses Ventil selbst zuweilen das Herz der Pumpe. Der Pumpenstiefel CD muß inwendig so vollkommen wie möglich cylindrisch oder rund seyn, damit ein runder Kolben G so genau wie möglich in demselben schließe, und ohne zu große Klemmung im Pumpenstiefel bewegt werden könne.

Der Kolben oder Pumpenschuh G ist mit einer cylindrischen, oder auch wohl mit einer konischen

Oeffnung durchbohrt, welche mit einer Klappe g geschlossen werden kann, die ebenso eingerichtet ist, wie das Ventil oder die Klappe f, und nach oben spielt. Der Pumpenschuh wird emporgezogen durch seine Stange HIK, welche bei K mit einem Hebel KLM verbunden ist, der bei M mit einem Schwengel N bewegt wird. Der Pumpenschuh kann durch diese Einrichtung, wenn sie in entgegengesetzter Richtung bewegt wird, niedergedrückt werden, doch meistentheils kann er auch durch eigne Schwere niedersteigen. Wenn keine besondere Einrichtung angebracht ist, durch welche die Stange des Pumpenschuhes soviel wie möglich in gerader senkrechter Linie auf- und niederbewegt wird, so hat sie wenigstens irgendwo zwischen K und H ein Gelenk I, um welches sich der Theil IK allein während der Bewegung dreht, so daß HI fast ganz vertikal bleibt und nicht gebogen wird. Ueber dem Pumpenstiefel endlich steht ein Sammelbehälter EF, in welchen das Wasser gehoben wird, und aus welchem es wieder aus Hähnen oder Schnauzen ausfließt.

Wenn das Wasser höher als bis EF gehoben werden muß, so ist EF kein Sammelbehälter, sondern ein gewöhnliches seitenständiges Röhrenknie E Fig. 51 Nr. 2, verbunden mit einer senkrechten Röhre F, deren innerer Raum vom Innern des Pumpenstiefels durch ein Ventil h abgeschlossen werden kann. Die Röhre F kann sogar auch eine Verlängerung des Pumpenstiefels seyn.

Die Thätigkeit der Pumpe ist sehr einfach: ehe die Thätigkeit des Pumpens beginnt, ist das Saugrohr bis ei (der Wasserspiegel von cd) mit Wasser gefüllt; der Raum von ei bis zum Herzen f der Pumpe, und vom Herzen f bis zum Pumpenschuh G, oder vielmehr bis zum Ventil g enthält atmosphärische Luft. Die atmosphärische Luft in eiA

und in f G g hat einerlei Spannung mit der äußern Luft und drückt deshalb mit einem gleichen Gewicht auf die Oberfläche des Wassers e i B. Man denke sich nun den Pumpenschuh in seinem tiefsten Stande, und daß er alsdann gehoben werde bis zu k l, so bleibt während dieser Bewegung das Ventil g des Pumpenschuhes geschlossen, weil der Druck der Luft auf dasselbe fortdauert. Ist nun der Pumpenschuh bis k l gehoben, so wird die Luft o p C f sogleich diesen größern Raum einnehmen und eben soviel an Elasticität und Druckkraft verlieren, um wieviel der Raum k l C größer ist, als o p C (Art. 17). Auf das Ventil f wird also ein geringerer Druck ausgeübt, als zuvor, und deshalb ein geringerer Druck, als die Luft A e i von unten gegen dasselbe ausübt. Hat nun das Ventil keine übermäßige Schwere, so wird es von der Luft A e i geöffnet werden, und da die Luft e i A elastischer ist, als f l k, so wird sie aus dem Saugrohr in den Pumpenstiefel treten. Alsdann wird die Elasticität der Luft e i f auch geringer, sie übt nun einen geringern Druck auf das Wasser e i aus, als zuvor, wo noch ihre Spannung derjenigen der äußern Luft gleich war, und da nun letztere eben deshalb einen größern Druck auf das Wasser c d ausübt, als die innere Luft, so muß das Wasser in der Röhre A B bis m n z. B. steigen, so daß die Spannung der Luft k l f m n + dem Drucke der Wassersäule e i m n dem Drucke der äußern Luft auf die Oberfläche des äußern Wassers das Gleichgewicht halten. Wird nun das Ventil f von oben und von unten auf gleiche Weise gedrückt, so bleibt es geschlossen. Man drücke alsdann den Pumpenschuh niederwärts, so wird die Luft k l p o zusammengedrückt, bekommt sehr bald wieder eine Spannung, gleich derjenigen der äußern Luft; hernach, wenn der Pumpenschuh weiter hin-

absteigt, eine größere Spannung, so daß das Ventil g, welches von unten stärker gedrückt wird, als von oben, sich öffnen muß und der gespanntern Luft über f einen Durchzug gewährt, bis der Pumpenschuh seinen tiefsten Stand erreicht hat, und das Ventil g, wenn es auf beiden Seiten gleich stark gedrückt wird, wieder zufällt.

Zieht man nun den Pumpenschuh wieder empor, so wird die Wirkung der erstern beim Anfange der Bewegung gleich seyn: das Wasser wird deshalb im Saugrohre wieder steigen können. Nach zwei oder mehr Zügen erreicht das Wasser das Herz der Pumpe, öffnet in Folge des Druckes der äußern Luft das Ventil f und kommt über dasselbe zu stehen; das Wasser wird auf diese Weise endlich den Pumpenschuh erreichen können.

Es sey q r der tiefste Stand des Pumpenschuhes, und das Wasser sey nach dem Hube des Pumpenschuhes bis o p gestiegen; alsdann werde der Pumpenschuh niedergedrückt, so schließt sich das Ventil f, welches während des Steigens des Pumpenschuhes geöffnet war, wieder zu; der Pumpenschuh soll nun vor o p vorüber durch das Wasser o p r q getrieben werden, so wird sich das Ventil g öffnen und das Wasser selbst durch den hohlen Pumpenschuh fließen und über die Oberfläche desselben gelangen. Wird dann der Pumpenschuh wieder gehoben, so schließt sich das Ventil g, und das über der Oberfläche des Pumpenschuhes stehende Wasser wird mit demselben emporgeführt; unterdessen kann die äußere Luft ihren Druck wieder frei ausüben, das Ventil f öffnen und das Wasser durch die Saugröhre A B in den Pumpenstiefel C D treiben; ist alsdann die Geschwindigkeit der Bewegung des Pumpenstiefels geringer als diejenige, mit welcher das Wasser durchfließt und steigt, so muß das Was-

ser im Pumpenstiefel dem Pumpenschuhe beständig folgen bis in seinen höchsten Stand. Wenn die Bewegung des Pumpenschuhes in diesem Augenblicke wieder in einer entgegengesetzten Richtung stattfindet, und er folglich einen kleinen Augenblick stillesteht, so wird das Ventil f durch seine Schwere zufallen, das Wasser flk ganz zurückhalten und verhindern, zurückzulaufen, was geschehen würde, wenn das Ventil f nicht vorhanden wäre, oder offen bliebe; denn indem sich das Ventil g, durch das Niedersinken des Pumpenschuhes vom Wasser flk gedrückt, öffnet, so wird der Druck der äußern Luft auf das über dem Pumpenschuhe stehende Wasser auch ausgeübt auf das Wasser klf unter dem Pumpenschuhe; die Schwere der Säule klie würde dann ohne das Ventil f von keiner Druckkraft getragen werden (weil die äußere Luft auch auf das Wasser cd und von da unten gegen die Säule klie gleich stark drückt, als oben auf diese Säule), und das Wasser müßte augenblicklich wieder sinken bis zum Spiegel ei des äußern Wassers.

Durch das Pumpen wird alsdann das Wasser cd bis über die Oberfläche des Pumpenschuhes gebracht, wenn dieser in seinem höchsten Stande ist; läßt man nun den Pumpenschuh wieder bis qr niedergehen, so wird er durch das Wasser, welches in der Höhe kl stehen bleibt, bewegt, und das Ventil g bleibt während dieser Bewegung geöffnet. Nachdem der Pumpenschuh wieder gehoben worden, schließt sich das Ventil g und alles Wasser, welches über dem Pumpenschuhe steht, muß zugleich mit diesem gehoben werden. Es kann in den Sammelbehälter EF Fig. 51 Nr. 1 oder in die Röhre F Fig. 51 Nr. 2 gelangen, und von da ausfließen. Bei jedem neuen Hub oder Schub (so wird der Raum genannt, durch welchen der Pumpenschuh

bewegt wird) muß nun derselbe Effect ununterbrochen stattfinden, nämlich, wenn der Pumpenschuh niedergeht, fällt das Ventil f und hält das über ihm stehende Wasser zurück, während das Ventil g offen bleibt. Wenn der Pumpenschuh gehoben wird, muß das Ventil g nothwendig zufallen, das Ventil f wird durch den Druck der äußern Luft auf das Wasser c d geöffnet (wenn nämlich dieser Druck größer ist, als derjenige der Wassersäule A e i + dem Gewichte des Ventiles f + dem Drucke des Wassers f p l k q f auf das Ventil f), das Wasser wird aufs Neue in den Pumpenstiefel gedrängt und zu gleicher Zeit mit dem Pumpenschuh emporgehen, während das Wasser, welches über dem Pumpenschuhe steht, in den Sammelbehälter E F gehoben wird und von da ausfließt.

Es wird deshalb allein durch den Hub des Pumpenschuhes Wasser in den Sammelbehälter gebracht, und die Wassersäule, welche jedesmal gehoben wird, ist offenbar gleich der Säule q r l k, welche der Pumpenschuh jedesmal fortbewegt, d. h. gleich einer Wassersäule, welche zur Höhe hat den Zug q k des Pumpenschuhes, und zur Basis die Oberfläche des Pumpenschuhes, oder auch den Durchschnitt des Pumpenstiefels. Hiervon muß jedoch der körperliche Inhalt oder das Volumen der Pumpenstange für die Länge des Zuges des Pumpenschuhes, wie auch das Volumen des Bügels H abgezogen werden.

Man nehme den Durchschnitt des Pumpenstiefels zu 1,5 Quadratpalmen, und den Durchschnitt der Pumpenstange zu 4 Quadratzollen, so wird (das Volumen des Bügels nicht in Anschlag gebracht) die Oberfläche der Basis der Wassersäule 1,46 Quadratpalmen betragen; beträgt dann der Zug des

Pumpenschuhes 4 Palmen, so wird bei jedem Hub des Pumpenschuhes eine Quantität von 5,84 Kubikpalmen emporgehoben. Man kann jedoch den körperlichen Inhalt dieses Theiles der Pumpenstange, welcher jedesmal über das Wasser kommt, wenn sich der Pumpenschuh in seinem höchsten Stande befindet, außer Rechnung lassen; denn wenn der Pumpenschuh wieder niedersteigt, so gelangt der erwähnte Theil wieder unter das Wasser, wodurch eben soviel Wasser nach oben verdrängt wird und ausläuft, als der körperliche Inhalt des Pumpenstockes beträgt.

Wiewohl über die Länge des Pumpenstiefels und der Saugröhre weiter unten noch besonders gehandelt werden wird, so wollen wir hier jedoch bemerken, daß, wenn der Abstand q e des Pumpenschuhes in seinem tiefsten Stande von der Oberfläche des äußern Wassers größer oder gleich ist der Höhe der Wassersäule, welche den Druck der Luft im Gleichgewicht erhält, das Wasser auch nicht höher als bis q r im Pumpenstiefel steigen könne; und da q r der tiefste Stand des Pumpenschuhes ist, so kann das Wasser nicht durch denselben fließen, und also auch nicht gehoben werden.

Die äußerste Höhe, bis zu welcher der Pumpenschuh über das zu hebende Wasser c d gebracht werden kann, ist deshalb diejenige, bei welcher er im höchsten Stande k l einen Abstand hat von c d, welcher gleich ist der Höhe der eben genannten Wassersäule, d. h. reichlich 10 Ellen gleich.

In der Praxis muß man diese Höhe nie als höchsten Stand des Pumpenschuhes nehmen, sondern immer reichlich 1 bis $1\frac{1}{2}$ Ellen darunter bleiben, weil die immer im Wasser anwesende oder mit dem Wasser vermengte Luft sich im Pumpenstiefel entwickeln und auf diese Weise sammt der

möglichen lecken Beschaffenheit des Pumpenherzes verhindern wird, daß das Wasser bis an den Pumpenschuh in seinem höchsten Stand gelangen könne. Diese Grenze bestimmt jedoch in keinem Theile die Höhe, bis zu welcher man Wasser zu heben vermag; denn wenn das Wasser nur gehörig dem Pumpenschuhe folgen und sich über denselben erheben kann, so kann man es bis zu allen Höhen über dem Pumpenschuh emporheben, wie dieses aus der Einrichtung Fig. 51 Nr. 2 ersichtlich wird, vorausgesetzt, daß hinlängliche Kraft vorhanden ist, um die Wassersäule heben zu können u. s. w.

Aus der Beschreibung der Saugpumpe hat man können entnehmen, daß die Gegenwart des Saugrohres keine absolute Bedingung sey; das Pumpenherz kann unter dem Wasser c d liegen und die Saugröhre dient allein, um die Entfernung vom Wasser auszufüllen, wenn der Pumpenschuh nur in einiger Entfernung von dem zu pumpenden Wasser angebracht werden kann.

55) Die Druckpumpe. Die einfache Druckpumpe besteht aus einem Pumpenstiefel A B Fig. 52, welcher unmittelbar im Wasser steht, und deshalb mit keinem Saugrohre verbunden ist, der Boden dieser Röhre ist mit einem Ventile f verschlossen. Der Pumpenstiefel steht in Verbindung mit einer gebogenen und alsdann gerade oder schräg emporsteigenden Röhre D E, die verschlossen ist durch ein nach außen spielendes vertikales oder horizontales Ventil D. Der Pumpenschuh oder der Kolben ist massiv, und enthält deshalb kein Ventil. Er wird gewöhnlich in Bewegung gesetzt durch einen Hebel der zweiten Art, weil er nur beim Niedergange Effect äußern kann. Die gewöhnliche Spritze, welche zum Reinigen der Glasscheiben gebraucht wird, ist eine einfache Druckpumpe.

Wenn der Kolben gehoben wird, so muß das äußere Wasser wegen seines Druckes und desjenigen der äußern Luft in den Pumpenstiefel fließen, vor das Ventil D gelangen und bis unter den Kolben C steigen; ist letzteres geschehen und soll der Kolben niedersteigen, so fällt das Ventil F und sperrt das Wasser im Stiefel vom äußern Wasser ab. Beim Niedergange des Kolbens kann das Wasser unter demselben nicht weichen, sondern es wird das Ventil D geöffnet. Dieses Ventil bleibt geöffnet und der Kolben drückt das Wasser in das Steigrohr DE. Beim Hube des Kolbens schließt sich das Ventil D sowohl durch seine eigne Schwere, als durch den Druck des Wassers DE, und da das Ventil f zu gleicher Zeit durch den Druck des äußern Wassers geöffnet wird, so wird der Stiefel wieder wie zuvor gefüllt. Bei jedem Niedergange des Kolbens wird dann Wasser in das Steigrohr DE gepreßt, und dieses Wasser kann, wenn hinlängliche Kraft vorhanden ist, bis zu jeder Höhe gehoben werden. Wenn der Pumpenstiefel AB so tief unter dem Wasser liegt, daß der Kolben in seinem höchsten Stande nicht über die Oberfläche des äußern Wassers gelangt, so wirkt die Pumpe unabhängig vom Druck der äußern Luft, und die Pumpe ist alsdann eine eigentliche Druckpumpe.

Man kann den Pumpenstiefel einer Druckpumpe auch über die Oberfläche des zu hebenden Wassers bringen (siehe Fig. 53), indem man ihn mit einem Saugrohre FG verbindet. Die Pumpe ist dann eigentlich eine Saug- und Druckpumpe, oder eine zusammengesetzte Druckpumpe. Bei den ersten Hüben des Kolbens muß die Luft FG durch das Herz f der Pumpe treten und das Wasser wird im Saugrohre in Folge des Druckes der äußern Luft

steigen. Bei den ersten Niedergängen des Kolbens schließt sich das Ventil f und die Luft im Pumpenstiefel wird durch das Ventil D zum Theil in das Steigrohr getrieben. Dieses wird während der ersten zwei oder drei Züge des Kolbens der Fall seyn, bis das Wasser durch das Herz der Pumpe getrieben werden kann; alsdann wird eine ähnliche Wirkung wie bei der einfachen Druckpumpe Fig. 52 beständig stattfinden, nur mit dem einzigen Unterschiede, daß das Wasser im Pumpenstiefel durch den Druck der äußern Luft auf die Oberfläche des äußern Wassers emporgetrieben oder gezogen wird.

Der Kolben einer Druckpumpe kann auch bei seinem Hube das Wasser emportreiben; alsdann muß die Pumpe der Hauptsache nach so eingerichtet seyn, wie in Fig. 54 angegeben ist, wo a b c ein Röhrchen für den Zweck darstellt, der Luft unter dem Kolben einen Ausgang zu verschaffen, wobei vorausgesetzt wird, daß der Kolben vollkommen im Pumpenstiefel schließt. Auch kann ohne dieses Luftröhrchen, die Röhre A B bei A ganz und gar offen seyn, so daß der Kolben im Wasser bewegt wird. Läßt man nach Fig. 53 den Kolben auch in die Röhre E D Wasser treiben, während er niedergedrückt wird, so bekommt man sowohl beim Hub, als beim Schub des Kolbens eine ununterbrochene Wasserförderung. Die punktirten Linien sammt den andern Linien zeigen die alsdann erforderliche Construction der Röhren an.

Eine Druckpumpe läßt sich immer mit Vortheil statt einer Saugpumpe anwenden:

1) Wenn das Wasser in Seitenrichtungen hoch gehoben oder niedergetrieben werden muß;

2) wenn man besonders Ventile im Pumpenschuh vermeiden will.

3) Wenn der Durchmesser der Pumpe nicht sehr groß ist, und wenn die Kraft nur auf eine zweckmäßige Weise beim Niederdrücken eines Hebels der zweiten Art wirksam seyn kann. Umstände der Oertlichkeit für die Anbringung der verschiedenen Röhren können auch die Anwendung einer Druckpumpe statt einer Saugpumpe vorschreiben. Uebrigens wird der Leser entnommen haben, daß die Wasserförderung mit einer Druckpumpe ganz dieselbe ist, wie bei einer Saugpumpe, sobald nämlich die Weite der Pumpenstiefel und die Länge der Kolbenzüge sich gleich sind.

56) Die Hebepumpe. Eine Hebepumpe Fig. 55 (im Durchschnitt von vorn und von der Seite dargestellt) wirkt beim Niedergange des Kolbens als eine Saugpumpe, und beim Hube desselben als eine Druckpumpe (Fig. 54), welche das Wasser hebt. Der Gebrauch der Hebepumpen muß durch örtliche Umstände vorgeschrieben werden. Der Pumpenstiefel A B ist zugleich die Saugröhre und steht unter Wasser; gleich über dem höchsten Punkte A, den der Kolben erreicht, liegt ein Ventil f, welches nach oben spielt; der Kolben C ist hohl, gleich demjenigen einer Saugpumpe und enthält auch ein nach oben spielendes Ventil g; er ist von unten mit der Stange H I verbunden, welche entweder durch einen Hebel der zweiten Art, der sich ebenfalls unter dem Wasser dreht, oder durch einen Bügel K K, L L, welcher durch die Stange M auf- und niedergezogen werden kann, bewegt wird.

Die Hebepumpe kann auch eingerichtet seyn, wie Fig. 56 angibt, so daß die Stange des Kolbens und der Pumpenstiefel sich über der Oberfläche des aufzupumpenden Wassers befinden.

§. II.

Berechnung der Kraft oder der nöthigen Quantität der Wirkung, um mit einer Pumpe eine gegebene Quantität Wasser in einer bestimmten Zeit zu heben.

57) Um mittelst einer Pumpe Wasser bis zu einer gewissen Höhe zu bringen, müssen folgende Widerstände überwunden werden, während das Wasser durch den Kolben gehoben oder gepreßt wird:

1) Die Last des Wassers selbst und das Uebermaß des Druckes der atmosphärischen Luft auf das gehobene Wasser über den Gegendruck der Luft unten gegen den Kolben.

2) Das Gewicht des Kolbens seiner Stange u. s. w.

3) Die Reibung des Kolbens an den Wänden des Pumpenstiefels.

4) Der Widerstand der Reibung des gehobenen Wassers an den Wänden der Röhren.

5) Widerstände der Ventile in den sogenannten Steigröhren und in einigen Saugpumpen.

Mit diesen Widerständen muß der Druck der Kraft beständig das Gleichgewicht herstellen, auch muß die Kraft ein gehöriges Uebermaß des Druckes ausüben können, um die erforderliche Geschwindigkeit der Bewegung erzeugen zu können, und um die Trägheit der Theile bei der Veränderung der Bewegungsrichtung des Kolbens zu überwinden. Ueber jeden der erwähnten Widerstände wird nun, und in sofern dieses gefordert werden sollte, für jede besondere Art von Pumpe besonders gehandelt.

a) L a s t d e s z u h e b e n d e n W a s s e r s u. s. w. — I n d e r S a u g p u m p e F i g. 51 Nr. 1. Es sey D der höchste Punkt, bis zu welchem das Wasser gehoben werden muß; man nenne den Abstand dieses Punktes von der Oberfläche des zu

pumpenden Wassers h, d. h. OQ = h; es sey die Oberfläche des Durchschnittes des Pumpenstiefels ganz gleich der Oberfläche des Kolbens = O; man setze ferner die Höhe einer Wassersäule, welche dem Drucke der Atmosphäre das Gleichgewicht hält = H (im Durchschnitt 10,3 Ellen), und lasse den Abstand PQ des Kolbens vom Wasser cd in irgend einem Punkte seiner aufsteigenden Bewegung = x seyn. Die Last, welche der Kolben unmittelbar hebt, ist gleich der Wassersäule von o bis D (ohne Rücksicht zu nehmen auf die Dicke des Kolbens, den man beinahe immer aus der Berechnung weglassen kann, wiewohl er auch sehr leicht in Berechnung zu bringen ist) mit dem Drucke der Atmosphäre auf diese Wassersäule D. Diese Säule hat zur Basis die Oberfläche O und zur Höhe die Entfernung OP = OQ — PQ = h — x, und addirt man hinzu die Höhe H der gedachten Wassersäule, welche man statt des atmosphärischen Druckes setzen kann, so hat man eine Wassersäule von h — x + H Höhe auf eine Basis O, welche deshalb einen Kubikinhalt hat von O (H + h — x). Ist das Maß in Palmen und Quadratpalmen gegeben, so wird der eben gefundene Inhalt in Kubikpalmen bekannt, und da ein Kubikpalm Wasser im Durchschnitt ein niederländisches Pfund wiegt, so wird O (H + h — x) auch das zu hebende Gewicht in niederländischen Pfunden ausdrücken.

Steigt der Kolben g empor, so ist das Ventil f geöffnet, das Wasser wird durch den Druck der äußern Luft in den Pumpenstiefel getrieben und folgt dem Kolben. Die Wassersäule von o bis e, deren Höhe PQ, und deren Basis gleich der Oberfläche O des Pumpenstiefeldurchschnittes ist, wird dann durch den Druck der Luft auf das Wasser cd getragen, und da dieser Druck gleich ist demjenigen ei-

ner Wassersäule von H Palmen Höhe, so wird diese eingebildete Wassersäule die Säule oe oder PQ mit einem Uebermaße tes Druckes nach oben und an die untere Seite des Kolbes drücken, welches gleich ist dem Ueberdrucke der Säule H über die Säule oe, welche sie trägt, d. i. gleich dem Druck einer Säule, welche die Oberfläche O des Kolbens zur Basis, und $H - PQ = H - x$ zur Höhe hat.

Es ist dann eben so gut, als ob der Kolben von unten nach oben durch ein Gewicht, dessen Druck $O(H - x)$ Pfunde beträgt, gedrückt oder getrieben würde. Dieser Gegendruck erleichtert die anzuwendende Kraft, und wenn man dieselbe abzieht von dem Drucke der Säule, welche oben auf den Kolben wirkt, und die gleich ist $O(H + h - x) = O(h + H - x)$, so wird die Differenz seyn

$$= O[h + (H + x)] - O(H - x) = Oh + O \cdot (H - x) - O(H - x) = Oh;$$

und da diese Differenz Oh gleich ist dem Gewicht einer Wassersäule, welche zur Basis hat die Oberfläche des Kolbens und zur Höhe den Abstand $OQ = h$ der Oberfläche cd des zu hebenden Wassers von der Höhe D, bis auf welche das Wasser gehoben werden muß, so weiß man dadurch, welche Last des Wassers die an einer Saugpumpe wirkende Kraft beständig im Gleichgewicht erhalten muß, und zwar abgesehen davon, in welchem Stande der Kolben während seines Hubes sich befinden möge.

Breitet sich das Wasser cd weit aus, so daß die Oberfläche cd durch das anhaltende Pumpen nicht merklich fällt, so ist die Größe der Last des Wassers auch beinahe unveränderlich; aber wenn die Quantität des Wassers cd gering ist, und bald un-

ter den Spiegel cd fällt oder fallen kann, so werden durch das Fallen dieses äußern Wassers der Abstand OQ und dadurch auch die Last beständig größer. Man sey hierauf bei der Berechnung der anzuwendenden Kraft aufmerksam und nehme zur Bestimmung der größten Last die Höhe der Wassersäule h gleich dem Abstande des Punktes D von dem tiefst-möglichen Stande der Wasseroberfläche cd. Es kann dieser Stand nicht tiefer seyn, als bis auf einige Zoll über dem Anfange ab der Saugröhre. Diese Anmerkung wende man auch an auf die Berechnung der Last, welche durch eine Druck- oder Hebepumpe überwunden werden muß.

Wenn der Kolben niedergeht, muß er durchs Wasser hindurch bewegt werden. Die Kraft muß alsdann den Widerstand bei dieser Bewegung durchs Wasser überwinden. Dieser Widerstand ist immer um sehr vieles geringer als derjenige, welcher beim Heben des Kolbens obwaltet, und meistens braucht man denselben nicht in Betracht zu ziehen, da das Gewicht von Stange und Kolben diesen Widerstand überwinden werden.

Mit Hülfe des oben Angeführten hält es nun nicht schwer, die Größe der Kraft, welche an einer Druck- oder Hebepumpe wirkt und erfordert wird, um die Last des Wassers u. s. w. im Gleichgewichte zu erhalten, zu bestimmen. Wenn bei der einfachen Druckpumpe Fig. 52 der Kolben gehoben wird bis zu cd, so wird das Ventil D geschlossen, und das Ventil f geöffnet seyn; die atmosphärische Luft drückt oben auf die Oberfläche des Kolbens, aber die auf das äußere Wasser drückende Luft drückt auch unten gegen den Kolben, sie trägt die Wassersäule odg und ihr Ueberdruck wird gegen den Kolben von unten nach oben ausgeübt, um die Kraft zu erleichtern. Wird dieser Ueberdruck H — dg

abgezogen von dem Drucke H oben auf den Kolben, so bleibt übrig die Last einer Wassersäule, welche zur Basis die Oberfläche des Kolbens und zur Höhe den Abstand dg des Kolbens von der Oberfläche des zu pumpenden Wassers hat. Diese Last hat die Kraft, beim Hube des Kolbens ebenfalls zu heben, wenn die Druckpumpe auch zugleich eine Saugpumpe ist (siehe Fig. 53).

Wenn der Kolben niedergeht, so wird f geschlossen und D geöffnet; befindet sich nun der Kolben im höchsten Stande cd, und ist P die Höhe, bis zu welcher das Wasser gehoben werden muß, so wird, wenn man die Horizontallinie dcba zieht, die Höhendifferenz PQ des Kolbens in cd bis zum Punkte des Ausfließens P die Höhe der fortzubewegenden Wassersäule seyn, welche die Oberfläche des Kolbens zur Basis hat (obschon es sich zutragen kann, daß der Durchmesser der Steigröhre kleiner oder größer ist, als derjenige des Pumpenstiefels, Art. 8). Der Druck der Luft trägt hier nichts dazu bei, weil sie beinahe mit einem gleichen Gewicht auf den Kolben C wie auf die Oberfläche des Wassers bei P drückt. Die eben genannte Last bleibt jedoch nicht unveränderlich, während der Kolben niedergedrückt wird; denn zieht man z. B. im tiefsten Stande des Kolbens die Horizontallinie R, so wird die Höhe der zu hebenden Wassersäule nun RP, während sie zuvor PQ war. Ist der Kolbenhub klein und die Oberfläche des Kolbens zugleich nicht groß, so kann diese unaufhörliche Vermehrung des Widerstandes nicht beträchtlich seyn; aber im entgegengesetzten Falle wird dieser ungleiche Widerstand eine weit größere Beschwerde verursachen können, als daß man zum Heben des Wassers eine Druckpumpe anwenden möchte.

Die Saug- und Druckpumpe Fig. 53 gewährt vor der gewöhnlichen Saugpumpe den Vortheil, daß man mit derselben Kraft das Wasser höher heben kann; denn wenn P der Punkt des Abfließens und C der tiefste Stand des Kolbens ist, so wird die Höhe der Wassersäule, welche bei Anwendung einer Druckpumpe zu äquilibriren ist = PQ seyn, da die Höhe = PR seyn würde, wenn die Pumpe eine Saugpumpe wäre. (Das Knie des Steigrohres E trägt hier zur Vermehrung der Last des Wassers nichts bei, wie sich dieses aus den Grundsätzen des I. Kap. entnehmen läßt.)

Bis über das Herz der Pumpe wird dann das Wasser allein durch den Druck der äußern Luft, durch das Steigen des Kolbens gehoben und von da durch die bewegende Kraft. Man erspart deshalb so viel Druck, als das Gewicht einer Wassersäule beträgt, welche die Oberfläche des Kolbens zur Basis und zur Höhe die Entfernung QR d. i. reichlich die Länge der Saugröhre hat. Mit diesem Drucke kann man deshalb auch das Wasser viel höher heben, als mit einer Saugpumpe von gleichen Dimensionen mit der Druckpumpe.

Dem steht aber entgegen, daß beim Hube des Kolbens der Widerstand in der Druckpumpe auch um eben so viel mehr beträgt, wie viel er geringer war beim Niederdrücken (beim Schub), als in der Saugpumpe, und alle Widerstände zusammengenommen, sowohl beim Hub, als beim Schub des Kolbens sind dann in den Saug- und Druckpumpen gleich; weil jedoch bei der Saug- und Druckpumpe die Differenz der Widerstände, welche man beim Schub und Hub des Kolbens zu überwinden hat, kleiner ist, als in der Saugpumpe, so gewährt diese letztere einen weniger gleichmäßigen Widerstand, und

mit derselben Kraft kann dann die erste Pumpe leichter regelmäßig bewegt werden, als die letzte.

Bei einer Hebepumpe ist immer, wenn der Kolben emporgezogen wird, die Last des Wassers gleich dem Gewicht einer Wassersäule, welche zur Basis hat die Oberfläche des Kolbens, und zur Höhe den vertikalen Abstand der Oberfläche des Wassers von der Höhe der Wasserförderung. Geht der Kolben nieder, so wird der Widerstand seiner Bewegung im Wasser hinlänglich überwunden durch sein Gewicht und durch dasjenige der Stangen u. s. w.

b) Gewicht des Kolbens u. s. w. Der Kolben oder Pumpenschuh mit seinen Stangen, die im Wasser oder durch das Wasser bewegt werden, verlieren so viel von ihrem Gewichte, als das Gewicht des Wassers beträgt, welches sie verdrängen (Art. 10). Hat man nun nach diesem Abzuge das Gewicht von Stangen und Kolben entweder durch Berechnung, oder durch unmittelbares Wiegen bestimmt, so muß dasselbe in den verschiedenen Pumpen addirt oder subtrahirt werden von der Größe des Druckes der Kraft, je nachdem der Kolben auf- oder niedergeht.

Dieses Gewicht ist in der Saugpumpe Last, wenn der Kolben das Wasser hebt; und wenn der Kolben niedergeht, so wird die Kraft durch dieses Gewicht unterstützt. In der Druckpumpe wird die Kraft durch das Emporpressen des Wassers, wenn der Kolben niedergeht, durch das Gewicht des Kolbens und der Stange unterstützt, und wenn der Kolben emporgehoben wird, wird dasselbe Gewicht zur Last.

Bei der Hebepumpe ereignet sich nun dasselbe, was bei der Saugpumpe eintritt, denn allein beim Niedergange des Kolbens wirkt sein Gewicht sammt

demjenigen der Stange auf eine nützliche Weise, indem es die Reibung des Kolbens überwinden hilft, und beim Hube des Kolbens muß die Kraft außer der Last des Wassers auch das Gewicht der Stange und des Kolbens tragen.

Das Gewicht des Kolbens und der Stange unterstützt also allein in der Druckpumpe die Kraft auf eine nützliche Weise, während die Last des Wassers verdrängt wird. In den Saug- und Hebepumpen muß man deshalb das Gewicht durch ein Gegengewicht äquilibriren, wenn es einen mehr als geringen Druck bedürfte, um jedesmal gehoben zu werden. Wenn man jedoch berechnen muß, welche mittlere Kraft nöthig ist, um eine Pumpe in Thätigkeit zu setzen (was z. B. der Fall ist, wenn sie mechanisch bewegt wird) d. h. auf- und niederzubewegen, so bleibt das Gewicht der Stangen, Kolben u. s. w. immer außer Rechnung, von welcher Art die Pumpe auch seyn möge; weil dasselbe, indem es bald hinzu addirt, bald von der Last abgezogen werden muß, natürlich wegfällt, wenn man den mittlern Durchschnitt zwischen den Widerständen beim Auf- und Niedergange des Kolbens bestimmen soll. Es ist jedoch in jedem Falle nützlich, die überwiegenden Theile durch Gegengewichte u. s. w. zu äquilibriren, damit sie keinen veränderlichen Widerstand gewähren, und damit alsdann die Bewegung sanft und regelmäßig sey.

c) Reibung des Kolbens an der Wand des Pumpenstiefels. Dieser Widerstand wird erzeugt dadurch, daß der Umfang oder die äußere Oberfläche des Kolbens gewissermaßen gegen die Wand des Pumpenstiefels gedrückt seyn muß, so daß weder Wasser noch Luft durchdringen kann. Das Wasser findet aber mehr oder weniger Gelegenheit durchzudringen, je nachdem der Umfang des

Kolbens mit dieser oder jener Substanz überzogen ist. Diese Substanz, sey sie nun Rindsleder, Hanf, Baumwolle oder Werg, ist immer etwas compressibel, und wie die Einrichtung des Kolbens auch beschaffen seyn möge (worüber in der Folge gehandelt werden soll), so läßt sich doch ganz natürlich begreifen, daß, wenn das Wasser nur ein wenig zwischen die Wand des Stiefels und den Kolben dringen kann, die sogenannte Liderung des Kolbens einen Druck vom Wasser zu erleiden hat, welcher der Höhe des drückenden Wassers proportional ist.

Wenn nun der Druck des Kolbens gegen die innere Wand des Pumpenstiefels geringer ist, als der Druck, den der Ueberzug oder die Liderung zu ertragen hat, so wird diese Liderung an irgend einer Stelle comprimirt, und das Wasser kann zwischen dem Kolben und der Wand des Pumpenstiefels durchdringen. Der Druck des Kolbens gegen die Wand des Pumpenstiefels muß dann wenigstens so groß seyn, als der Druck des Wassers gegen denselben, und dieser Druck ist deshalb proportional der drückenden Wasserhöhe. Die Reibung hängt von diesem Drucke ab und zwar auf eine vollkommen proportionale Weise, sobald die Wandung des Stiefels überall vollkommen rund ausgebohrt und der Kolben überall mit derselben Substanz auf eine gleichförmige Weise gelidert ist, so daß die Reibung der Höhe der drückenden Wassersäule proportional ist.

Je größer ferner der Umfang des Kolbens ist, um so viel größer wird die Oberfläche, welche gedrückt wird, wenn die Dicke des Kolbens dieselbe bleibt, und die Reibung ist deshalb auch proportional dem Halbmesser oder dem Durchmesser, und der Dicke des Kolbens.

Aus letzterem folgt, daß bei Pumpen von verschiedener Weite, die aber das Wasser bis zu derselben Höhe und unter denselben Umständen fördern, die Reibung des Kolbens bei weitern Pumpen einen verhältnißmäßig kleinern Theil der Kraft verschlingt, als bei engern Pumpen; denn die Kraft nimmt verhältnißmäßig zu mit der Oberfläche des Kolbens, d. h. mit dem Quadrate des Durchmessers, während die Reibung nur mit dem Umfange, d. h. in dem einfachen Verhältnisse des Durchmessers zunimmt.

Wenn also bei einer Pumpe von 1 Palm Durchmesser ein Druck der Kraft von 10 Pfund erfordert wird, um die Last des Wassers im Gleichgewichte zu erhalten, und wenn zur Ueberwindung der Reibung 2 Pfund erfordert werden, so ist dieser letzte Widerstand $= \frac{2}{10}$ oder $\frac{1}{5}$ der Druckkraft. Hat nun die Pumpe 2 Palm Durchmesser und muß sie das Wasser eben so hoch fördern, als die erste Pumpe, so muß die Last des Wassers im Gleichgewicht erhalten werden durch einen Druck von 40 Pfunden, und wenn nun die Kolben dieselbe Dicke haben können, so wird die Reibung des Kolbens von 2 Palmen noch einmal so groß seyn, als die des Kolbens von 1 Palm, weil der Umfang des ersten Kolben noch einmal so groß ist, als die des letztgenannten. Es werden nun 4 Pfund erfordert, um die Reibung zu überwinden, und diese 4 Pfund machen nicht $\frac{1}{5}$, sondern nur $\frac{4}{40}$ oder $\frac{1}{10}$ der Druckkraft aus. Es geht jedoch diese Regel nicht allgemein durch, weil mit der Vergrößerung des Kolbens auch seine Dicke einigermaßen verhältnißmäßig zunehmen muß.

Es sey der Halbmesser des Kolbens $= r$, so ist sein Umfang $= 6{,}2832 \cdot r$; es betrage ferner die Dicke des Kolbens oder die Breite der Liderung, in sofern diese mit der Wand des Pumpenstiefels in

Berührung steht $= d$; wenn nun das Maß in Palmen gegeben ist, so wird der Rand oder die Seite des Kolbens auf eine Strecke von $6{,}2832 \cdot r \cdot d$ Quadratpalmen mit der Wand des Pumpenstiefels in Berührung stehen, und auch auf dieselbe Extension geklemmt werden. Es sey h die Höhe der Wassersäule, welche in der Saugpumpe von der Oberfläche des Wassers bis zu dem Punkte des Ausflusses gerechnet wird, oder welche in der Hebepumpe über dem Kolben steht, oder welche in der Druckpumpe unten gegen den Kolben drückt. Diese Höhe sey gegeben in Palmen, und man rechnet dieselbe von der Mitte der Dicke des Kolbens, wenn sich dieser in seinem tiefsten Stande befindet bis zum Ausflußpunkte des Wassers: so erfährt alsdann der Rand des Kolbens, oder der Kolben selbst einen Seitendruck von

$$6{,}2832 \cdot r \cdot d \cdot h$$

Kubikpalmen Wasser, d. h. einen Druck von eben so viel Pfunden.

Welcher Theil dieses Druckes nun der Reibung gleich ist, dieses muß durch besondere Versuche bestimmt werden, da dieses für die besonderen Substanzen der Pumpenstiefel und der Pumpenliderung nicht genau bekannt ist. Für gewöhnliche Kolben, welche mit Leder oder mit Hanf gelidert sind, nimmt man die Reibung gemeiniglich $= \frac{1}{6}$ oder $\frac{1}{7}$ des Druckes. Man kann diese Bestimmung als eine approximative annehmen, so daß die Reibung nicht zu groß angegeben ist, und alsdann wird die Formel, um die Reibung zu bestimmen

$$= \frac{1}{7} \cdot 6{,}2832 \cdot r \cdot d \cdot h = 0{,}8976\, r\, d\, h.$$

Diese Formel ist entwickelt in der Voraussezzung, daß die Klemmung des Kolbens gerade gleich

sey dem Drucke der über ihm stehenden Wassersäule; aber in der Praxis ist es nicht möglich, dieses so genau zu reguliren, und die Klemmung wird deshalb größer seyn; sie muß auch größer seyn, weil Abnutzung stattfindet; um wieviel größer sie jedoch seyn möge, läßt sich im einzelnen Falle nicht bestimmen, manchmal ist sie sogar zwei- und dreimal größer, aber um hier nur das Geringste anzunehmen, wollen wir sie ungefähr proportional mit $\frac{1}{5}$ h setzen, oder was auf einerlei hinausläuft, die Reibung, welche oben zu $\frac{1}{7}$ gerechnet wurde, verändert sich dadurch in $\frac{1}{5}$ und die Formel wird

$$= 1{,}2566 \cdot r\,d\,h,$$

welche Formel gleichwohl nur annähernd angibt, wieviel Gewicht nöthig sey, um die Reibung zu überwinden, weil dieser Widerstand niemals im Allgemeinen durch eine Formel genau angegeben werden kann.

Um das zur Ueberwindung der Reibung nöthige Gewicht durch dasjenige einer Wassersäule auszudrücken, die einerlei Basis mit dem Kolben hat, nenne man die Höhe dieser Säule in Palmen x, so wird, da der Inhalt der Oberfläche des Kolbens $= 3{,}1416\ r^2$ ist (in Quadratpalmen) der Inhalt dieser Säule in Kubikpalmen oder das Gewicht in niederländischen Pfunden seyn.

$$3{,}1416\ r^2 \cdot x;$$

dieses Gewicht muß dem vorhergehenden gleich seyn und deshalb

$$3{,}1416\ r^2 \cdot x = \frac{2}{5} \cdot 3{,}1416\ r\,d\,h;$$

woraus sich für die Höhe der Wassersäule ergibt

$$x = \frac{2\,d\,h}{5\,r}$$

wenn man nun die Höhe der Wassersäule, welche in jeder Pumpe als Last betrachtet werden kann, um diese Höhe x vermehrt, und diese neue Säule als Last betrachtet, so bringt man auf diese Weise die Reibung des Kolbens in Rechnung.

Anmerk. In Pumpen, deren Stiefel höchst genau gebohrt sind, deren Kolben äußerst sorgfältig gearbeitet sind und leicht bewegt werden können, kann man die angegebene Höhe x kleiner und zwar

$$x = \frac{d\,h}{4\,r}$$

annehmen. Auch sind diese Formeln weniger anwendbar auf gewöhnliche kleine Pumpen von täglichem Gebrauch; denn in diesen Pumpen klemmen die Kolben wenig in den Pumpenstiefeln, weil es hier nicht darauf ankommt, ob man einige Kolbenzüge mehr thun muß. Um eine verlangte Quantität Wasser auszupumpen, oder weil es keinen zu großen Nachtheil verursacht, wenn ein wenig Wasser zwischen dem Kolben und der Wand des Pumpenstiefels durchdringt, wie es bei manchen Pumpbrunnen der Fall ist.

d) Widerstand wegen Reibung des Wassers an den Wandungen der Pumpenstiefel, und Widerstand von den Ventilen.

Diese beiden Arten von Widerständen können dem Maße nach nur approximativ angegeben werden, weil sie unter verschiedenen Umständen sehr verschieden seyn können; sie sind als von der Geschwindigkeit der Bewegung abhängend, implicite begriffen in der Berechnung der Kraft, welche erforderlich ist, um den Kolben mit einer gegebenen Geschwindigkeit zu bewegen. Diese Berechnung wird für die verschiedenen Arten von Pumpen hier kürz-

lich vorgetragen werden, und aus derselben soll abgeleitet werden, wie man zur Kenntniß der oben genannten Widerstände gelangen kann.

Wenn man die Größe der Last des Wassers und des Widerstandes der Reibung des Kolbens, beide ausgedrückt durch das Gewicht einer Wassersäule, welche die Oberfläche des Kolbens zur Basis hat, bestimmt hat, — wenn man über dieses einmal voraussetzt, daß die Widerstände der Reibung des Wassers und der vorhandenen Ventile auf dieselbe Weise bekannt geworden sind, so weiß man aus dem Verhältnisse der Hebelarme der Kraft und der Last, welchen Druck die Kraft ausüben muß, um mit der Last das Gleichgewicht herzustellen, und es muß dann allein gefunden werden, welches Uebermaß des Druckes wenigstens erfordert wird, um der Last eine bestimmte Geschwindigkeit mitzutheilen. Dieses läßt sich immer auf zweierlei Weise ziemlich genau finden, von welcher Art die bewegende Kraft auch seyn möge. Denn man kann:

1) Voraussetzen, daß das Uebermaß des Druckes der Kraft aus der Schwere eines Gewichtes entspringe, das am Hebelarme der Kraft hängt, und alsdann den Grundsätzen des 1. Kap. der vorhergehenden Abtheilung entsprechend bestimmen, welches Gewicht erforderlich ist, um eine bestimmte Geschwindigkeit mitzutheilen, oder man kann:

2) Annehmen, daß die Geschwindigkeit der Bewegung der zu hebenden Wassersäule verursacht werde durch den Druck einer Wasseransammlung, aus welcher die genannte Säule so zu sagen fließt (gleichsam als ob der ganze Pumpapparat eine horizontale Röhre wäre, die mit der erwähnten Wassersäule communicirt), und alsdann bestimmen, welche Höhe eine Wassersäule von derselben Basis als der Kolben haben müsse, um dem Wasser eine bestimmte Ge-

schwindigkeit der Bewegung zu geben. Das Gewicht dieser Wassersäule wird alsdann natürlich das gesuchte Uebermaß des Druckes der Kraft seyn.

Diese letzte Art der Betrachtung ist die einfachste und an dieser Stelle die natürlichste, obschon nicht die genaueste. Wir wollen ihr jetzt folgen und sie annehmen, obschon, wenn man das richtige Maß der stattfindenden Widerstände und die Art der bewegenden Kraft kennt, die erforderliche Quantität der Kraft meistentheils auf eine einfachere und für die Praxis zweckmäßigere Weise geschätzt wird, als es durch die folgende Theorie geschieht.

I. Berechnung der Kraft, welche erforderlich ist, um den Kolben einer Saugpumpe mit einer gewissen Geschwindigkeit zu heben.

Bei der Betrachtung des Gleichgewichtes zwischen Kraft und Last, hat sich ergeben, daß die Last des Wassers aus dem Gewicht zweier Wassersäulen entsteht, von denen die eine von der Oberfläche des Kolbens bis zum Abflußpunkt, und die zweite von derselben Oberfläche (eigentlich von der untern Fläche, wenn der Kolben massiv wäre und keine Ventile hätte) bis zur Oberfläche c d des emporzuhebenden Wassers Fig. 51 Nr. 1 gerechnet wird. Das Gewicht dieser letzten Säule wird eigentlich durch den Druck der äußern Luft getragen, aber soviel Druck dafür vom ganzen Drucke der Atmosphäre abgezogen werden muß, mit eben soviel weniger Kraft wird der Kolben unten und mit eben soviel mehr Kraft wird er oben von der atmosphärischen Luft gedrückt.

Man kann deshalb annehmen, daß die Säule o p i e unter dem Kolben durch die Kraft getragen werden müsse, und daß dann die Drucke der Luft

über und unter dem Kolben, weil sie einander gleich sind, einander aufheben. Bei der Bewegung des Kolbens muß das Wasser im Pumpenstiefel dem Kolben folgen; diese Bewegung muß bewerkstelligt werden durch den Druck der äußern Luft, und soviel Luftdruck erfordert wird, um dem Wasser diese Bewegung zu geben, um soviel nimmt natürlich (wie dieses bei dem Gleichgewichte der Fall ist) der Gegendruck der Luft aufs Wasser und von da auf die untere Fläche des Kolbens ab, und um eben soviel muß dann auch der Druck der Luft oben auf den Kolben zunehmen. Hieraus folgt deshalb, daß die Kraft, welche erforderlich ist, um das Wasser unter dem Kolben mit der erforderlichen Geschwindigkeit fortzutreiben, eben so gut einen Theil der bewegenden Kraft ausmachen müsse, und also gleichsam eben so gut durch die bewegende Kraft ausgeübt werden müsse, als daß beim Gleichgewicht das Gewicht der Wassersäule unter dem Kolben bis zum Wasser c d durch den Druck der Kraft getragen werden muß. Im ersten Falle muß man alsdann die Kraft erfahren, oder vielmehr den Druck, durch welchen das Wasser im Pumpenstiefel emporgetrieben werden muß, mit einer Geschwindigkeit, welche derjenigen des Kolbens gleich ist.

Man bringe zuerst den Widerstand der Reibung des Wassers an den Wänden der Röhren gar nicht in Anschlag und setze ferner die Geschwindigkeit der Bewegung des Kolbens = S.

Beim Eindringen des Wassers in die Mündung B Fig. 51 des Saugrohres entsteht eine Zusammenziehung der einfließenden Wassersäule, ungeachtet diese Mündung trichterartig ausläuft. Hierdurch wird die Quantität des durchfließenden Wassers vermindert, und da das Wasser nach dem Punkte der Zusammenziehung genöthigt ist, der Wandung der

Saugröhre zu folgen, so wird die Geschwindigkeit des Wassers in der Saugröhre kleiner werden, als in dem Fall, wo die Zusammenziehung = Null wäre. Denn es betrage der Durchschnitt der Saugröhre 0 Quadratpalmen, und die Zusammenziehung sey so groß, daß der Durchschnitt der einfließenden Wassersäule an der Mündung der Röhre = $a < o$ sey; wenn nun die Geschwindigkeit des Einströmens = s ist, so wird die Quantität des durchgeflossenen Wassers in 1 Secunde seyn $a\,s$; in 1 Secunde muß längs der Wand der Saugröhre natürlich dieselbe Quantität Wasser fortfließen, und da der Durchschnitt = o ist, so wird, wenn man die Geschwindigkeit des Fließens im Saugrohre x nennt, die Quantität $o \cdot x$ gleich seyn müssen der Quantität $a \cdot s$ d. h.

$$o \cdot x = a \cdot s \text{ woraus folgt } x = \frac{a}{o} \cdot s,$$

und da nun a kleiner ist als o, so wird $\frac{a}{o}$ kleiner seyn als 1, und also x kleiner als s. Eine ähnliche Abnahme der Geschwindigkeit muß entstehen bei dem Fortfließen des Wassers aus dem Saugrohre A B in den weitern Pumpenstiefel G H, welche Geschwindigkeit noch vermindert wird durch den Widerstand des Ventiles f und durch die Zusammenziehung der Wassersäule daselbst.

Die Quantität der Zusammenziehung der einströmenden Säule an der Mündung der Saugröhre würde ohne die Anwesenheit des Siebes a b nicht beträchtlich seyn können, aber sie wird dieses oder kann so angenommen werden, wenn dieses Sieb vorhanden ist, weil das Wasser, welches durch eine Menge runde oder enge Oeffnungen durchdringen muß, dadurch in seiner Bewegung oder in seinem

Zutritt zum Innern der Saugröhre offenbar sehr behindert wird. Es ist deshalb, wenn die Gelegenheit es gestattet, besser, einen Rost oder ein Sieb vor den Eingang oder die Mündung des Sammelbehälters zu bringen, der das Wasser c d enthält, als vor die Mündung der Saugröhre. Dem sey übrigens wie ihm wolle, man nehme an, daß eine merkliche Zusammenziehung bestehe und daß der Durchschnitt der Säulen beim Punkte der größten Zusammenziehung a Quadratpalmen betrage, während der Durchschnitt des Saugrohres dann größer und = o ist. Das Einfließen wird dann von Statten gehen, als ob keine Zusammenziehung bestände, sondern als ob die Saugröhre, welche einen Durchschnitt o hat, unten durch ein Plättchen geschlossen wäre, das in der Mitte eine runde Oeffnung von a Quadratpalmen enthält.

Beim Durchfließen des Wassers durch das Herz der Pumpe findet wiederum eine Zusammenziehung statt, und eine Behinderung der Bewegung verursacht durch die zitternde Bewegung d. h. durch die kleinen Stöße des Ventiles f und durch sein Gewicht, welches von dem einfließenden Wasser zum Theil getragen werden muß. Diese letztern Effecte bringen natürlich dieselbe Wirkung hervor, als ob die Oeffnung des Durchflusses im Pumpenherz noch mehr verengert würde, weil eine solche Verengerung auch eine wirkliche Behinderung der freien Bewegung des Wassers ist. Gesetzt nun, daß die drei obengenannten Behinderungen zusammengenommen eben soviel betragen, als eine einzige Behinderung des Wasserdurchflusses, welche durch eine Verengerung der Oeffnung am Herzen der Pumpe entsteht, und daß dadurch der Durchschnitt o der Saugröhre bei f gebracht werde auf b Quadratpalmen, was merklich weniger als o ist.

Wenn die Geschwindigkeit des Wassers im Pumpenstiefel, dessen Durchschnitt $= O$ ist, gleich der Geschwindigkeit der Bewegung des Kolbens und also $= S$ seyn soll, so fließt durch den Pumpenstiefel in 1 Secunde eine Quantität Wasser $= O \cdot S$ Kubikpalmen (so daß S in Palmen ausgedrückt wird, wie auch O) und da diese Quantität zu gleicher Zeit durch die Saugröhre fließen muß, deren Durchschnitt o ist, so muß die Geschwindigkeit des Wassers in der Saugröhre seyn $= \frac{O \cdot S}{o}$. Wenn die Höhe des Wassers in einem Sammelbehälter mit h bezeichnet wird, so wird die Geschwindigkeit des Ausfließens aus einer Oeffnung im Boden gefunden werden durch die Formel

$$s = \sqrt{2\,g\,h}$$

(Art. 21); woraus folgen wird, indem man beide Glieder dieser Gleichung auf die zweite Potenz erhöht,

$$s^2 = 2\,g\,h \text{ und also } h = \frac{s^2}{2\,g};$$

so daß, wenn s eine Geschwindigkeit der Ausströmung oder des Durchflusses bezeichnet, die Wasserhöhe, deren Druck diese Geschwindigkeit hervorbringt, seyn muß

$$\text{Höhe } h = \frac{s^2}{2\,g} = s^2 \times \frac{1}{2\,g},$$

es ist nämlich $g = 9{,}81216$ Ellen, oder $= 98{,}1216$ Palmen. Hieraus muß nun folgen, daß die Wasserhöhe, deren Druck dem Wasser im Saugrohre die Geschwindigkeit $\frac{O\,S}{o}$ gibt, seyn müsse

$$= \left(\frac{O \cdot S}{o}\right)^2 \times \frac{1}{2g} = \left(\frac{O\ S}{o}\right)^2 \times \frac{1}{196,2482}$$

$$= 0,0050957 \left(\frac{O\ S}{o}\right)^2 = \text{beinahe } 0,0051$$

$\left(\frac{O\ S}{o}\right)^2$ Palmen.

Aber ehe das Wasser ins Saugrohr tritt und die erforderliche Geschwindigkeit erlangt, muß es durch die Mündung der Saugröhre, deren Mündung zu a Quadratpalmen kleiner als der Durchschnitt o der Saugröhre gestellt ist, dringen. Das Wasser muß deshalb mit einer um so viel größern Geschwindigkeit durch die Mündung a der Saugröhre fließen, damit es in der weitern Röhre o die Geschwindigkeit $\frac{O\,S}{o}$ erlange, und da in derselben Zeit die durchgeflossenen Wasserquantitäten gleich seyn müssen, so wird, so wie oben angegeben worden, die Geschwindigkeit des Wassers beim Durchflusse durch die Mündung des Saugrohres $= \frac{O\,S}{a}$ seyn müssen; die Druckhöhe, welche diese Geschwindigkeit erzeugt, wird deshalb

$$= 0,0051 \left(\frac{O\,S}{a}\right)^2 \text{ Palmen.}$$

Eine Säule Wasser, welche diesen Ueberschuß der Höhe über das Wasser in der Pumpe hat, wird deshalb dem Wasser im Saugrohr die Geschwindigkeit $\frac{O\,S}{o}$ geben. Aber dieses Wasser erfährt, während es durchs Herz der Pumpe fließt, daselbst Widerstand, und verliert von seiner Geschwindigkeit

auch dadurch, daß der Pumpenstiefel weiter ist als die Oeffnung b des Pumpenherzens. Gäbe es keine Saugpumpe, sondern flösse das Wasser unmittelbar durch das Herz der Pumpe, so würde es mit einer Geschwindigkeit $= \frac{O\,S}{b}$ durchströmen müssen, um im Pumpenstiefel eine Geschwindigkeit = S zu erlangen, und die Höhe des Wassers, welche dieser Geschwindigkeit proportional ist, oder durch dessen Druck diese Geschwindigkeit hervorgebracht werden kann, muß sein

$$= 0{,}0051 \left(\frac{O\,S}{b}\right)^2 \text{ Palmen.}$$

Um das Wasser aus dem Saugrohre in den Pumpenstiefel mit der Geschwindigkeit S fließen zu lassen, wird eine drückende Wasserhöhe erfordert, welche, wie wir oben gefunden haben,

$$= 0{,}0051 \left(\frac{O\,S}{o}\right)^2$$

ist; da nun o größer ist als b, so wird diese Höhe kleiner seyn, als die Höhe

$$0{,}0051 \left(\frac{O\,S}{b}\right)^2,$$

welche erfordert wird, um das Wasser durch das Herz der Pumpe zu treiben, so daß die Geschwindigkeit im Pumpenstiefel = S wird; deshalb wird die Differenz dieser Höhen nämlich

$$0{,}0051 \left(\frac{O\,S}{b}\right)^2 - 0{,}0051 \left(\frac{O\,S}{o}\right)^2,$$

die Wasserhöhe seyn, welche allein erforderlich ist,

um den Widerstand des Ventiles f zu überwinden und den Mangel der Geschwindigkeit, welcher daselbst entstanden ist, durch die Zusammenziehung des einfließenden Wasserstrahles zu ersetzen. Addirt man nun diese Höhendifferenz zur Höhe

$$0{,}0051\left(\frac{O\,S}{a}\right)^2,$$

welche erforderlich ist, um das Wasser durch die Mündung des Saugrohres zu treiben, demselben im Saugrohre eine Geschwindigkeit $\frac{O\,S}{o}$ und im Pumpenstiefel eine Geschwindigkeit S zu geben, so bekommt man für das Maß der Höhe einer Wassersäule, welche erforderlich ist, um die Behinderungen der Zusammenziehung und der Ventile zu überwinden, und um dem Wasser eine Geschwindigkeit S im Pumpenstiefel zu geben,

$$0{,}0051\left(\frac{O\,S}{a^2}\right)^2 + 0{,}0051\,\frac{(O\,S)^2}{b^2} - 0{,}0051\,\frac{(O\,S)^2}{o^2}$$

$$= 0{,}0051\,(O\,S)^2\left\{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} - \frac{1}{o^2}\right\} \quad \ldots .\ (1).$$

Ohne Widerstand von Ventilen u. s. w. muß die Höhe, welche erforderlich ist, um dem Wasser im Pumpenstiefel unmittelbar die Geschwindigkeit S zu geben, seyn

$$0{,}0051\,\frac{(OS)^2}{o^2},$$

und wenn man diese Höhe von der vorhergehenden abzieht, so wird die Differenz angeben, welche Druckhöhe allein erfordert wird, um die Widerstände

der Zusammenziehung und der Ventile zu überwinden, und diese Differenz beträgt

$$= 0{,}0051 \left\{\left(\frac{OS}{a}\right)^2 + \left(\frac{OS}{b}\right)^2\right\} - 0{,}0051 \left(\frac{OS}{o}\right)^2$$

$$- 0{,}0051 \left(\frac{OS}{o}\right)^2 = 0{,}0051\,(OS)^2 \left\{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} - \frac{2}{o^2}\right\} (2)$$

Die Basis der Wassersäule, deren Höhe durch die Formel (1) und (2) bestimmt wird, ist natürlich gleich der Basis oder Oberfläche des Kolbens d. h. = O, und da das Maß in Palmen ausgedrückt ist, so wird der Kubikinhalt derselben Säule zugleich ihr Gewicht in niederländischen Pfunden ausdrücken.

Deshalb wird das Gewicht oder der Druck in Pfunden, welcher nöthig ist, um die Widerstände der Ventile und der Zusammenziehung zu überwinden

$$= 0{,}0051\ O \cdot (OS)^2 \left\{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} - \frac{2}{o^2}\right\} \ldots (3)$$

seyn, und um dem Wasser im Pumpenstiefel zugleich die Geschwindigkeit S zu geben

$$= 0{,}0051 \cdot O \cdot (OS)^2 \left\{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} - \frac{1}{o^2}\right\} (4).$$

Anmerk. In den meisten Fällen ist der Durchschnitt O des Pumpenstiefels größer, als der Durchschnitt o der Saugröhre; wenn jedoch die Höhe der Saugröhre gering ist, so kann der Durchschnitt o dem Durchschnitte O gleich seyn; die Formeln werden dann für O = o

$$\text{Nr. } (1) = 0{,}0051\ S^2 \left\{\frac{O^2}{a^2} + \frac{O^2}{b^2} - 1\right\},$$

$$\text{Nr. (2)} = 0{,}0051\ S^2 \left\{\frac{O^2}{a^2} + \frac{O^2}{b^2} - 2\right\},$$

$$\text{Nr. (3)} = 0{,}0051\ O\,S^2 \left\{\frac{O^2}{a^2} + \frac{O^2}{b^2} - 2\right\},$$

$$\text{Nr. (4)} = 0{,}0051\ O\,S^2 \left\{\frac{O^2}{a^2} + \frac{O^2}{b^2} - 1\right\}.$$

Gibt es endlich kein Saugrohr, sondern ist der Pumpenstiefel unter Wasser getaucht, so daß der vorhandene Widerstand nur derjenige des Pumpenherzens und die Behinderung in Folge der Zusammenziehung ist, so ändern sich die Formeln folgender Gestalt ab

$$\text{Nr. (1)} = 0{,}0051 \cdot \left(\frac{O\,S}{b}\right)^2,$$

$$\text{Nr. (2)} = 0{,}0051 \cdot S^2 \left\{\frac{O^2}{b^2} - 1\right\},$$

$$\text{Nr. (3)} = 0{,}0051 \cdot O\,S^2 \cdot \left\{\frac{O^2}{b^2} - 1\right\},$$

$$\text{Nr. (4)} = 0{,}0051 \cdot O\,S^2 \left(\frac{O\,S}{b}\right)^2.$$

Der Widerstand, den das Wasser an den Wänden der Röhre erfährt, muß durch besondere Versuche bestimmt werden, da derselbe nothwendig differiren muß vom Widerstande der Reibung des Wassers, welches durch eine horizontale Röhre fließt. Weil es uns in diesem Betreff an Versuchen gebricht, so wollen wir jetzt blos die Formel anwenden, welche in Art. 36 für die Bewegung des Wassers in einer horizontalen Leitungsröhre angegeben worden ist; sie wird zwar nicht genau seyn, aber jedoch für den gegenwärtigen Zweck ausreichend,

welcher niemals mit dem größten Grade der Genauigkeit erreicht werden kann (da der fragliche Widerstand auch mit dem Stoff und mit der Beschaffenheit der innern Oberflächen der Röhren differiren muß), sich aber doch immer durch Berechnungen in Pausch und Bogen bestimmen läßt, in denen jedoch das Zuviel und das Zuwenig der Werthe der vorhandenen Widerstände annähernd sich gegen einander ausgleichen kann.

In Art. 36 ist angegeben, daß, wenn H die drückende Wasserhöhe, D der Durchmesser und L die Länge der Röhre ist, in welcher das Wasser bewegt wird, alsdann die mittlere Geschwindigkeit s der Bewegung hinlänglich genau berechnet werden könne durch die Formel

$$s = 26{,}79 \cdot \sqrt{\frac{DH}{L}}.$$

Man nenne die Länge AB der Saugröhre l; der Durchmesser der Röhre ist aus dem Durchschnitt o bekannt; man nenne den Durchmesser m und der Durchmesser des Pumpenstiefels sey = M, seine Länge vom Pumpenherz A bis zum Abflusse des Wassers (vorhandene Kniee darunter mitbegriffen) = L. Da nun die Geschwindigkeit des Wassers in dem Saugrohre seyn muß $= \frac{OS}{o}$, so wird die Wasserhöhe x, welche diese Geschwindigkeit hervorbringen kann, gefunden aus der Formel

$$\frac{OS}{o} = 26{,}79 \cdot \sqrt{\frac{m}{l} \cdot x},$$

nämlich

$$x = \frac{l}{m} \cdot \frac{(OS)^2}{(26{,}79)^2 \cdot o^2} = 0{,}00139333 \cdot \frac{l}{m} \cdot \left(\frac{OS}{o}\right)^2.$$

Wenn der Durchmesser der Saugröhre = M d. h. gleich dem Durchmesser des Pumpenstiefels wäre, so würde die Geschwindigkeit der Bewegung des Wassers = S, und die Höhe, welche dieser Geschwindigkeit proportional ist

$$= 0{,}00139333 \frac{1}{M} \cdot S^2$$

seyn. Diese Höhe ist geringer als die vorhergehende x, und aus der Differenz ergibt sich die größere Druckhöhe, welche erforderlich ist, um das Wasser durch das Saugrohr zu treiben, wenn dieses einen kleinern Durchmesser besitzt, als der Pumpenstiefel. Diese Differenz ist nun

$$= 0{,}00139333 \frac{1}{m} \left(\frac{O\,S}{o}\right)^2 - 0{,}00139333 \frac{1}{M} S^2$$

$$= 0{,}00139333\ l S^2 \left(\frac{O^2}{m\,o^2} - \frac{1}{M}\right),$$

d. i. da $O : o = M^2 : m^2$, und also $O^2 : o^2 = M^4 : m^4$,

$$= 0{,}00139333\ l S^2 \left\{\frac{M^4}{m^5} - \frac{1}{M}\right\}$$

$$= 0{,}00139333 \frac{l S^2}{M m^5} (M^5 - m^5).$$

Man kann nun bemerken, daß das Saugrohr denselben Durchmesser hat, wie der Pumpenstiefel, aber daß bei der Bewegung des Wassers bis zum Herzen der Pumpe nur ein besonderer Widerstand obwaltet, welcher durch die letzte Formel angegeben ist, und davon herrührt, daß die Saugröhre eine geringere Weite als der Pumpenstiefel besitzt. Wenn wir also annehmen, daß die Bewegung des Wassers stattfinde in einer Röhre BAHI von L + l Länge,

und durchgängig gleichem Durchmesser M, so wird die Höhe einer drückenden Wassersäule, welche dem Wasser in der Röhre eine Geschwindigkeit S mittheilen soll, müssen bestimmt werden durch die Formel

$$x = 0{,}00139333 \cdot \frac{L + l}{M} \cdot S^2,$$

setzt man nun hinzu die Höhe, welche erforderlich ist, um den größern Widerstand zu überwinden im Saugrohre, wenn dieses enger ist als der Pumpenstiefel, so wird die totale Höhe

$$= 0{,}00139333 \, \frac{S^2}{M} \left\{ L + l + l \cdot \frac{M^5 - m^5}{m^5} \right\}$$

$$= 0{,}00139333 \cdot \frac{S^2}{M} \left\{ L + l \cdot \frac{M^5}{m^5} \right\} \ldots\ldots (5).$$

Zieht man von dieser Höhe diejenige ab, welche, ohne Widerstand der Reibung u. s. w., erforderlich seyn würde, um dem Wasser im Pumpenstiefel die Geschwindigkeit S zu geben, so wird die Differenz seyn

$$= 0{,}00139333 \, \frac{S^2}{M} \left\{ L + l \cdot \frac{M^5}{m^5} \right\} - 0{,}0051 \, S^2 \cdot \frac{M^4}{m^4}$$

denn die abzuziehende Höhe ist nach der Formel Nr. (2)

$$= 0{,}0051 \left(\frac{S}{o} \right)^2,$$

und da $O : o = M^2 : m^2$ ist, so wird

$$\left(\frac{O\,S}{o} \right)^2 = S^2 \, \frac{M^4}{m^4}$$

seyn. Aus dieser Differenz ergibt sich nun, welche

Höhe eine Wassersäule haben muß, deren Druck allein erforderlich ist, um die Reibung des Wassers in den Röhren zu überwinden, und es wird diese Höhe um so geringer seyn, wenn die Geschwindigkeit und die Länge der Röhren geringer sind, aber hauptsächlich auch, wenn die Durchmesser des Pumpenstiefels und der Saugröhre weniger differiren.

Mit dieser letzten Formel kann nun in allen Fällen angegeben werden, wie groß die an der Kolbenstange ziehende Kraft seyn müsse, um das Wasser mit einer Geschwindigkeit S bis zur Höhe a über die Oberfläche des Wassers c d Fig. 51 zu heben. Denn wenn man das Gewicht von Stange und Kolben G nennt, so wird erfordert:

1) Um die zu hebende Wassersäule von der Höhe h und einer Basis O im Gleichgewicht zu erhalten, eine Druck- oder Ziehkraft von O h Pfunden, d. h. wenn man den Durchmesser des Pumpenstiefels M nennt, wo dann $O = 3{,}1416 \cdot M \cdot \frac{1}{4} M = 0{,}7854\ M^2$ wird,

$$0{,}7854\ M^2 \times h \text{ Pfunde.}$$

2) Gewicht von Stange und Kolben G Pfunde.

3) Für die Reibung des Kolbens an der Wand des Pumpenstiefels (siehe weiter oben) $\frac{1}{5} \cdot 6{,}2832\ r\,d\,h$ d. h. weil $r = \frac{1}{2} M$ ist

$$\frac{1}{5} \cdot 3{,}1416\ M \cdot d \cdot h \text{ Pfunde,}$$

oder nennt man die Dicke d den n-Theil des Durchmessers, so daß $d = \frac{M}{n}$ ist,

$$\frac{1}{5} \cdot 3{,}1416\ M^2 \frac{h}{n} \text{ Pfunde.}$$

4) Für den Widerstand des Ventiles f und für die Behinderungen der Zusammenziehung des

ein= und ausfließenden Wassers (siehe Formel [3] in welcher hier O verändert ist in 0,7854 M^2 und o in 0,7854 m^2)

$$0{,}002469\ M^6\ S^2 \left\{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} - \frac{3{,}24234}{m^4}\right\} \text{ Pfunde.}$$

5) Für die Kraft, welche erforderlich ist, um den Widerstand der Reibung des Wassers im Pumpenstiefel zu überwinden, und zugleich dem Wasser im Pumpenstiefel die Geschwindigkeit S zu geben (siehe Formel (5), welche hier multiplicirt werden muß mit der Oberfläche O = 0,7854 M^2 in Palmen, um den Kubikinhalt und das Gewicht der Wassersäule zu finden)

$$0{,}0010943 \cdot M S^2 \left(L + l \cdot \frac{M^5}{m^5}\right) \text{ Pfunde.}$$

Und alle diese Ausdrücke nun zusammengenommen geben für den totalen Druck der Kraft

$$G + 3{,}1416\ M^2 \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{5\,n}\right) h + M^2 S^2 \left\{ 0{,}002469\ M^4 \left[\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} - \frac{3{,}24234}{m^5}\right] + \frac{0{,}0010943}{M}\left[L + l \cdot \frac{M^5}{m^5}\right]\right\} (6).$$

Will man (abgesehen von dem Gewichte der Stange und des Kolbens) diese Formel darstellen durch eine andere, aus zwei Theilen bestehende, von denen der eine gleich ist der Oberfläche 0,7854 M^2 des Kolbens, der andere gleich der Höhe einer Wassersäule, welche denselben Druck auf die Basis des Kolbens ausübt, als die Kraft Druck anwendet, so muß man alle Ausdrücke mit 0,7854 M^2 dividiren, die Quotienten zusammenaddiren und die ganze Summe wieder mit 0,7854 M^2 multipliciren, so bekommt man

$$G + 0{,}7854\,M^2 \left\{\left(1 + \frac{4}{5n}\right)h + S^2 \cdot \left[0{,}0031435\,M^4 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} - \frac{3{,}24234}{m^4}\right) + \frac{0{,}00139333}{M}\left(L + l\,\frac{M^5}{m^5}\right)\right]\right\} (7).$$

Durch diese Formel findet man alsdann unmittelbar die Kraft in Pfunden des Druckes, welche an der Stange des Kolbens wirken müssen, um alle vorhandenen Widerstände zu überwinden, und die Last des Wassers mit einer Geschwindigkeit S zu heben. Um nach Abzug der Widerstände dem Wasser eine Geschwindigkeit S zu geben, wird ein Druck erfordert von

$$0{,}0051 \times 0{,}7854 \times M^2 S^2 = 0{,}004\ (M S^2),$$

dieser Druck oder dieses Uebermaß des Druckes muß unaufhörlich an der Stange des Kolbens ausgeübt werden; er muß deshalb gleich einem fallenden Gewicht dem Kolben eine beschleunigte Bewegung mittheilen können; in der Praxis wird dieses jedoch in keiner Hinsicht der Fall seyn, da der Zug des Kolbens nicht nur kurz ist, sondern auch die Widerstände, welche im Verhältnisse des Quadrates der Geschwindigkeit anwachsen, die Zunahme der Geschwindigkeit schnell verhindern müssen.

Wenn Pumpen in Bewegung gesetzt werden durch die Kraft von Menschen oder von Thieren, oder durch das Wasser u. s. w., so weiß man im voraus, welches Gewicht mit einer bestimmten Geschwindigkeit durch diese bewegenden Kräfte gehoben werden kann, und man braucht dann nicht zu wissen, welches Gewicht, oder welcher Druck erfordert wird, um die Last mit Ueberwindung der passiven Widerstände mit einer bestimmten Geschwindigkeit emporzuheben, sondern welcher Druck nur erforderlich ist, um die Last und alle vorhandenen Widerstände im

Gleichgewicht zu erhalten. Um dieses Gewicht zu finden, braucht man von der Formel (7) nur abzuziehen das Gewicht

$$0,7854 M^2 + 0,0051 S^2 \cdot \frac{M^4}{m^4},$$

welches erforderlich ist, um dem Wasser in der Saugröhre die zweckmäßige Geschwindigkeit zu geben, damit die Geschwindigkeit im Pumpenstiefel = S werde. Diese Formel wird dadurch

$$G + 0,7854 M^2 \left\{ \left(1 + \frac{4}{5n}\right) h + S^2 \cdot \right.$$

$$\cdot \left[0,0031436 M^4 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} - \frac{4.86468}{m^4} \right) \right.$$

$$\left. \left. + \frac{0,00139333}{M} \left(L + l \frac{M^5}{m^5} \right) \right] \right\} \ldots \quad (8).$$

In diesen Formeln kommen zwei Größen vor, welche, um sie anwenden zu können, im voraus bestimmt werden müssen: nämlich die Größen der Oeffnungen a b, welche für die Wirkung der Zusammenziehung an der Mündung der Saugröhre und am Herzen der Pumpe, und für den Widerstand des Ventiles f gesetzt worden sind.

Die Größe a wird verschieden seyn, je nachdem die Mündung der Saugröhre offen oder auch mit einem Sieb oder mit einem Roste versehen ist. Im letzten Falle läßt sich nichts Positives über die Größe des Durchschnittes am Punkte der größten Zusammenziehung feststellen; die Erfahrung muß für diesen Zweck zu Rathe gezogen werden, oder man muß die Summe der Oeffnungen, durch welche das Wasser dringt, im Verhältnisse der Quantität der Zusammenziehung vermindern, und dann noch eine ähnliche Verminderung für die Zusammenziehung des Wassers beim Eintritt in die Mündung der Röhre

in Rechnung bringen. Die Oeffnung a muß dadurch recht gut bis auf die Hälfte des Durchschnittes o des Saugrohres gebracht werden können. Aber in den meisten Fällen ist man im Stande, den Rost oder das Sieb an die Seite des Sammelbehälters zu bringen, so daß die Mündung des Saugrohres offen bleibt, und wenn man alsdann nicht in Anschlag bringt, daß diese Mündung trichterartig ausläuft, damit das Wasser bequemer eintreten köune, so wird die Zusammenziehung die Folge haben, daß die Oeffnung der Röhre d. h. ihr Durchschnitt o auf 0,6 • o (Art. 24) gebracht wird; deshalb kann man im Durchschnitt a = 0,6 • o setzen.

In Bezug auf die reducirte Oeffnung b im Herzen der Pumpe muß bemerkt werden, daß sich hierüber noch viel weniger etwas Bestimmtes festsetzen läßt, als über die Verengerung der Mündung des Saugrohres; es hängt dieses ab

1) von der Form der Ventile und von der Art, wie sie durch das einfließende Wasser geöffnet werden müssen, wie man dieses aus der weiter unten gegebenen Beschreibung von Ventilen entnehmen kann; und

2) muß man auch das Maß der Stöße des Wassers gegen das sich öffnende Ventil und den Verlust an Geschwindigkeit kennen, welcher durch die gezwungene Seitenrichtung herbeigeführt wird, durch welche das Wasser bestimmt wird, längs dem Ventil in den Pumpenstiefel zu fließen, und dieses ist ohne wirkliche Erfahrung nicht möglich. Aber die verschiedenen Widerstände und Behinderungen werden selten so weit gehen können (außer vielleicht in großen Pumpen), daß sie zusammengenommen die Oeffnung b bis auf $\frac{1}{4}$ der Oeffnung oder des Durchschnittes o reduciren könnten. Man irrt gewiß wenig, wenn man die Oeffnung b im Durchschnitt auf

$\frac{1}{3}$ o = 0,333 · o setzt, wenigstens wird dieser Irrthum dann noch denjenigen ausgleichen, dem die Berechnung der Quantität der Reibung des Wassers an den Wänden der Röhren u. s. w. unterworfen ist, und diese Widerstände können beinahe durch Berechnung nicht genauer bestimmt werden, als oben geschehen ist, zumal da die tägliche Erfahrung niemals die ganz genauen einzelnen Werthe der Widerstände, sondern immer nur die mittleren allgemeinen Werthe bekannt werden läßt. In vielen Fällen kann auch das Zuviel und das Zuwenig der verschiedenen Arten der Widerstände sich gegenseitig ausgleichen.

Nimmt man nun a = 0,6 · o = 0,6 · 0,7854 m^2 = 0,4712 m^2, und b = 0,333 · o = 0,2618 m^2, so kann durch diese Werthe in den Formeln (7) und (8) der Ausdruck oder der Theil

$$\left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} - \frac{3,24234}{m^2}\right)$$

reducirt werden; denn a^2 wird = 0,2221 m^4, und b^2 = 0,06854 m^4, so daß $\frac{1}{a^2} = \frac{1}{0,2221\,m^4}$ $= \frac{4,5}{m^4}$, und $\frac{1}{b^2} = \frac{1}{0,06854\,m^4} = \frac{14,6}{m^4}$ wird; deshalb ist für die Formel (7)

$$\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} - \frac{3,24234}{m^4} = \frac{4,5 + 14,6 - 3,24234}{m^4}$$

$= \frac{15,858}{m^4}$, und für die Formel (8)

$$\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} - \frac{4,85468}{m^4} = \frac{4,5 + 14,6 - 4,86468}{m^4}$$

$= \frac{14,235}{m^4}$.

Sollte man befürchten, daß diese Werthe zu groß seyen, so kann man für dieselben setzen

$$\frac{14}{m^4} \text{ und } \frac{13}{m^4}.$$

Wenn man endlich die gefundenen wahrscheinlichen Werthe in den Formeln (7) und (8) überträgt, so wird man bekommen:

1) Erforderlicher Druck, um alle Widerstände, und darunter auch die Last mit begriffen, im Gleichgewicht zu erhalten [nach der Formel (8)]

$$G + 0{,}7854\, M^2 \left\{\left(1 + \frac{4}{5n}\right) h + S^2 \cdot \left[0{,}045 \cdot \frac{M^4}{m^4} + \frac{0{,}00139}{M} \left(L + 1 \cdot \frac{M^5}{m^5}\right)\right]\right\} \quad . \quad . \quad (9).$$

2) Erforderlicher Druck, um mit Ueberwindung aller Widerstände dem Kolben die Geschwindigkeit S mitzutheilen

$$G + 0{,}7854\, M^2 \left\{\left(1 + \frac{4}{5n}\right) h + S^2 \cdot \left[0{,}05 \frac{M^4}{m^4} + \frac{0{,}001393}{M} \left(L + 1 \frac{M^5}{m^5}\right)\right]\right\} (10)$$

in welcher Formel das Maß in Palmen genommen werden muß.

Wenn man ferner annimmt, daß $o = \frac{2}{3} O$ oder $m^2 = \frac{2}{3} M^2$ ist, so wird $m = M \sqrt{\frac{2}{3}} = 0{,}8165 \cdot M$ seyn, und $m^4 = \frac{4}{9} M^4$; die zwei vorhergehenden Formeln werden sich hierdurch folgendermaßen gestalten

$$\text{1te Formel (9)} = G + 0{,}7854\, M^2 \left\{\left(1 + \frac{4}{5n}\right) h + S^2 \left[0{,}10125 + \frac{0{,}0014}{M} (L + 2{,}76\, l)\right]\right\} \quad (a)$$

2te Formel (10) $= G + 0{,}7854 M^2 \left\{ \left(1 + \frac{4}{5n}\right) h + S^2 \left[0{,}1125 + \frac{0{,}0014}{M} (L + 2{,}76\, l)\right]\right\}$ (b).

Diese Formeln drücken jedoch nur aus die absolute Quantität des nöthigen Druckes; denn in der Praxis muß man häufig wohl $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ noch mehr Druck rechnen, damit die Kraft nicht immer mit ihrem äußersten Vermögen zu wirken braucht, sondern über die ganze Last ein gehöriges Uebermaß behalte (man vergleiche II. Theiles II. Abth. Kap. V. Art. 56).

II. Bestimmung der Kraft, die erforderlich ist, um den Kolben mit einer bestimmten Geschwindigkeit niedergehen zu lassen.

Beim Niedergange des Kolbens einer Saugpumpe schließt sich das Ventil des Pumpenherzens, wogegen sich das Ventil des Kolbens öffnet. Der beim Niedergange des Kolbens zu überwindende Widerstand äußert sich beim Durchdringen des Wassers durch den Kolben mit einer bestimmten Geschwindigkeit, und besteht noch außerdem in den zu überwindenden Behinderungen, welche durch das Ventil des Kolbens und durch die Zusammenziehung des durchfließenden Wasserstromes verursacht werden, ferner endlich in dem zu überwindenden Widerstande der Reibung des Kolbens. Der geringe Widerstand der Reibung des durch den Kolben dringenden Wassers an den Wänden des Pumpenstiefels und am Kolben kann ohne Gefahr vernachlässigt werden. In gewöhnlichen Pumpen, in welchen das Herabsteigen des Kolbens durch das Gewicht desselben bewirkt wird, ist es unnöthig, noch einige Berechnungen anzustellen. Aber wenn der Niedergang noth-

wendig in einer kürzern Zeit bewirkt werden muß, als dieses durch das Gewicht des Kolbens allein geschehen kann, so muß dazu noch über dieses Kraft angewendet werden, deren Größe zu kennen, nöthig seyn kann.

Der Durchschnitt des Pumpenstiefels sey O; die angenommene Geschwindigkeit der Bewegung S; die Oeffnung im Kolben, durch welche das Wasser dringen muß, sey o (und diese Oeffnung ist gewöhnlich oder im Durchschnitte gleich der Hälfte des Durchschnittes O des Pumpenstiefels). Obschon auch der Kolben gar kein Ventil zu haben braucht und es dadurch den Anschein erhält, daß das Wasser, welches sich unter der Oeffnung o des Kolbens befindet, nicht durch denselben gepreßt zu werden braucht, sondern daß dieses allein hinsichtlich des Wasserkranzes der Fall sey, welcher unter dem massiven Theile des Kolbens liegt, so kann doch dieses Wasser nicht durch die Oeffnung getrieben werden, ohne daß das unter der genannten Oeffnung liegende Wasser verdrängt wird und eine eben so große Geschwindigkeit erlangt, als das Wasser, welches durch den Kolben verdrängt werden muß.

Wenn nun der Kolben mit einer Geschwindigkeit S niedergeht, so muß in 1 Sekunde durch denselben eine Quantität Wasser O . S emporgetrieben werden, und dieses Wasser wird alsdann durch die Oeffnung o mit einer Geschwindigkeit $\frac{OS}{o}$ fließen, welche Geschwindigkeit erzeugt werden muß durch den Druck einer Wassersäule von einer Höhe

$$= 0,0051 \left(\frac{OS}{o}\right)^2.$$

Das Ventil des Kolbens gewährt Widerstand, nöthigt das Wasser in einer seitlichen Richtung,

durch den Kolben zu fließen, und erzeugt eine neue Zusammenziehung. Man kann annehmen, daß alle diese Widerstände zusammengenommen denselben Effect haben, wie eine einzige Behinderung, welche verursacht wird durch eine einzige Zusammenziehung, die mit der oben genannten Zusammenziehung als verbunden und mit in der Größe o enthalten gedacht werden kann. Um diese Größe o zu erfahren, muß man das Maß des Wasserstoßes gegen das Kolbenventil u. s. w. u. s. w. kennen, und hierüber weiß man ohne Erfahrung nicht allein gar nichts Zuverlässiges, sondern diese Widerstände werden auch mit der Form der Kolben und der Ventile merklich verschieden seyn müssen.

Wenn jedoch die Größe o bekannt ist, oder durch Erfahrung in manchen Pumpen bestimmt werden kann, so ist die Berechnung der anzuwendenden Kraft sehr leicht; denn zufolge der Theorie, welche wir oben in Nr. I. vorgetragen haben, wird erfordert:

1) Um die Reibung des Kolbens zu überwinden, ein Gewicht von

$$\tfrac{1}{5} \cdot 3{,}1416\, M^2 \cdot \frac{h}{n} \text{ Pfunde,}$$

und es bezeichnet M den Durchmesser und n die Dicke des Kolbens, getheilt auf dem Durchmesser M, und h die Höhe des zu pumpenden Wassers bis zum Punkte des Ausfließens.

2) Um das Wasser durch den Kolben zu treiben, während derselbe mit einer Geschwindigkeit S bewegt werden muß

$$0{,}0051\, O \left(\frac{OS}{o}\right)^2 = 0{,}0051\, \frac{O^3}{o^2} \cdot S^2.$$

Addirt man diese Zahlen zusammen, und zieht man von der Summe das Gewicht der Stange und

des Kolbens ab, so erhält man für den Werth des erforderlichen Druckes

$$\frac{1}{5} \cdot 3{,}1416\, M^2 \cdot \frac{h}{n} + 0{,}0051 \frac{O^3}{o^2} S^2 - G \quad (11).$$

Ist die Oeffnung des Kolbenventiles $= \frac{1}{2} O$ $= \frac{1}{2}$ des Pumpenstiefeldurchschnittes, und kann man über dieses in manchen Fällen rechnen, daß die Oeffnung durch Widerstand des Ventiles, durch Zusammenziehung und durch Stoß des Wassers noch gebracht werde auf $\frac{2}{3}$, so ist

$$o = \frac{1}{3} O, \text{ und } \frac{O^3}{o^2} = 27\, O = 27 \cdot 0{,}7854\, M^2,$$

weshalb die Formel werden muß

$$= 0{,}7854 M^2 \left\{ \frac{4h}{5n} + 0{,}1377\, S^2 \right\} - G \quad (12).$$

Wenn eine Pumpe bewegt wird durch die Kraft des Windes, des Wassers oder des Dampfes, oder wenn sie einen Theil ausmacht von einer Maschine, welche durch eine der genannten Kräfte getrieben wird und versehen ist mit den mechanischen Mitteln, durch welche die Bewegung so viel wie möglich regelmäßig gemacht wird, so muß man, um die mittlere Kraft zu kennen, welche zur Bewegung der Pumpe erfordert wird, den mittlern Durchschnitt zwischen den Kräften nehmen, welche erforderlich sind, um den Kolben zu heben und niederzudrücken. Die Schwere der Stangen und Kolben, die beim Hub mit gehoben werden müssen, aber durch welche die Kraft beim Niedergange des Kolbens erleichtert wird, bleiben nun bei der Bestimmung dieser mittlern Kraft ganz außer Rechnung. Wenn die Formeln (a) und (12) nun in diesem Sinne zusammenaddirt und die Summe durch 2 dividirt wird, so bekommt man

für die mittlere Kraft außer derjenigen, welche erforderlich ist, um dem Kolben die erforderliche Geschwindigkeit zu geben, und ohne auch noch auf ein gehöriges Uebermaß der Kraft zu rechnen:

$$V = 0{,}7854 M^2 \left\{\left(\frac{1}{2} + \frac{4}{5u}\right) h + \tfrac{1}{2} S^2 \cdot \left[0{,}23895 + \frac{0{,}0014}{M} (L + 2{,}76\, l)\right]\right\} \quad (c)$$

es ist nämlich das Maß ausgedrückt in Palmen, und es kann $l = h - L$ genommen werden.

III. Berechnung der Kraft, welche erforderlich ist, um den Kolben einer Druckpumpe mit einer bestimmten Geschwindigkeit niederzudrücken.

Die Kraft muß hier zweierlei Wirkungen leisten:

1) Die Last der zu hebenden Wassersäule tragen; und

2) das Wasser im Pumpenstiefel, und ferner dasjenige in den Steigrohren E Fig. 52 und 53 mit der erforderlichen Geschwindigkeit S heben, und zwar mit Ueberwindung des Widerstandes der Reibung des Kolbens und des Wassers, so wie des Widerstandes, den das Ventil D leistet.

Wenn das Wasser im Pumpenstiefel und in der Steigröhre mit der Geschwindigkeit S bewegt werden soll, oder (wenn der Durchschnitt des Steigrohres o ist und derjenige des Pumpenstiefels O) wenn das Wasser im Pumpenstiefel eine Geschwindigkeit S haben soll, damit das Wasser im Steigrohre mit der Geschwindigkeit $\frac{O\,S}{o}$ gehoben werden soll, so wird dazu der Druck einer Kraft erfordert,

welche gleich steht dem Druck einer Wassersäule, die zur Basis die Oberfläche des Kolbens und zur Höhe

$$0{,}0051\ S^2 \text{ Palmen}$$

hat, welche Höhe nöthig ist, um die Geschwindigkeit der Ausströmung S zu erzeugen. Um das Wasser durch den horizontalen Seitenarm ST des Steigrohres und durch das Ventil D zu treiben, ist besonders noch ein Druck erforderlich, wodurch die Wasserschichten, die im Pumpenstiefel in parallelen Richtungen niedersteigen, genöthigt werden, plötzlich ihre Richtung zu verändern. Gesetzt, daß der Widerstand des Ventiles D und der Effect der Zusammenziehung u. s. w. daselbst gleich sind dem einfachen Effecte der Zusammenziehung, durch welche die Oeffnung o des Steigrohres beim Punkte D bis auf a reducirt gedacht werden kann, wenn dann der Kolben in der horizontalen Röhre bewegt würde, so würde er das Wasser mit einer Geschwindigkeit $\frac{OS}{a}$ forttreiben müssen, damit die Geschwindigkeit im Steigrohre $\frac{OS}{o}$ würde, und dazu wäre dann erforderlich der Druck einer Wassersäule, welche die Oberfläche des Kolbens zur Basis und zur Höhe

$$0{,}00051 \left(\frac{OS}{a}\right)^2 \text{ Palmen}$$

hat. Wenn man deshalb diese gefundenen Höhen zusammenaddirt, so bekommt man eine Totalhöhe

$$= 0{,}0051\, S^2 \left(1 + \frac{O^2}{a^2}\right),$$

und ein drückendes Gewicht

$$= 0{,}0051\, S^2 \cdot O \left(1 + \frac{O^2}{a^2}\right).$$

Um die Formeln durch den Widerstand der Reibung des Wassers an den Wandungen der Röhren nicht zu zusammengesetzt zu machen, nehme man an, daß das Steigrohr gerade sey, und daß der Widerstand im Pumpenstiefel von c bis e nicht in Anschlag zu kommen braucht, weil dieser hinlänglich überwunden wird durch das Uebermaß der Kraft, welches der Kolben zu Anfang seiner Bewegung über diejenige hat, welche stets mehr und mehr angewendet werden muß, wenn er weiter niedersteigt. Es sey die Länge des Steigrohres, den Arm ST mit inbegriffen, $= L$, so wird, um das Wasser im Steigrohre mit einer Geschwindigkeit $\frac{OS}{o}$ zu bewegen, und um den Widerstand der Reibung des Wassers zu überwinden, eine drückende Wassersäule erfordert, deren Höhe oben in der Berechnung Nr. I. geschätzt ist

$$= 0{,}00139333 \cdot \frac{L}{m}\left(\frac{OS}{o}\right)^2,$$

(es bezeichnet M den Durchmesser des Steigrohres) und wofür man hier setzen kann

$$0{,}0014\,\frac{L}{m}\left(\frac{OS}{o}\right)^2.$$

Zieht man hiervon ab die Höhe $0{,}0051\left(\frac{OS}{o}\right)^2$, welche erforderlich ist, um dem Wasser im Steigrohre die Geschwindigkeit $\frac{OS}{o}$ zu geben, so bleibt übrig eine Höhe

$$0{,}0014\,\frac{L}{m}\left(\frac{OS}{o}\right)^2 - 0{,}0051\left(\frac{OS}{o}\right)^2 = \left(\frac{OS}{o}\right)^2$$

$$\left(0{,}0014\,\frac{L}{m} - 0{,}0051\right),$$

welche diejenige einer Wassersäule ist, die zur Basis hat die Oberfläche des Kolbens, und deren Gewicht denselben Widerstand gewährt, als die Reibung des Wassers im Steigrohre.

Wenn man nun diesen beiden gefundenen Drucken hinzufügt den Druck O h, der erforderlich ist, um die zu hebende Wassersäule im Gleichgewichte zu halten, nebst der Reibung des Kolbens $= \frac{4}{5} O \frac{h}{n}$, und wenn man alsdann das Gewicht G von Stange und Kolben abzieht, so bekommt man für den ganzen Druck, durch welchen mit Ueberwindung aller Widerstände der Kolben eine Geschwindigkeit S bekommt

$$Oh + O\frac{4h}{5n} + 0{,}0051\, S^2 \cdot O\left(1 + \frac{O^2}{a^2}\right) + O \cdot \left(\frac{OS}{o}\right)^2 \left(0{,}0014\frac{L}{m} - 0{,}0051\right) - G,$$

welche Formel wird

$$= O\left\{\left(1 + \frac{4}{5n}\right)h + O^2S^2\left[\frac{0{,}0014 \cdot L}{o^2 m} + 0{,}0051\left(\frac{1}{a^2}\frac{1}{o^2}\right)\right]\right\} - G,$$

wenn man von derselben abzieht den Druck 0,0051 $\cdot\, O S^2$, welcher erforderlich ist, um den Kolben die Geschwindigkeit S zu geben, so daß die Differenz allein ausdrückt, mit welchem Gewichte die Kraft, ohne noch eine Geschwindigkeit mitzutheilen, das Gleichgewicht herstellen muß.

Es ist hier nicht weniger schwierig, als in den vorhergehenden Fällen, um hinsichtlich der Größe der reducirten Oeffnung a etwas Sicheres festzustellen; sie hängt ab von der Zusammenziehung des Wassers

an der Mündung S des Steigrohres; von der Zusammenziehung an der Wand der Oeffnung, oder von der Mittelwand D, deren Oeffnung gemeiniglich enger oder kleiner ist, als die Oeffnung oder der Durchschnitt o der Steigröhre, damit das Ventil D diese Oeffnung gehörig schließen könne; von der Form des Ventils, von seiner Stellung und von seiner Oeffnung. Als eine wahrscheinliche Durchschnittszahl setze man einmal $a = \frac{1}{4} o$, so wird $a = \frac{1}{16} o^2$, und $\frac{1}{a^2} - \frac{1}{o^2} = \frac{15}{o^2}$; bringt man dieses in die vorhergehenden Formeln und macht man $O = 0{,}7854 M^2$, und $\frac{O^2}{o^2} = \frac{M^4}{m^4}$, und $L = h$, was ohne sehr zu fehlen, geschehen kann, so findet man nach vorgenommener Multiplication und Division

1) Für den Druck in Pfunden, welcher erforderlich ist, um alle bestehenden Widerstände nebst der zu hebenden Last im Gleichgewicht zu erhalten

$$0{,}7854\, M^2 \left\{ \left(1 + \frac{4}{5n}\right) \cdot h + S^2 \cdot \frac{M^4}{m^4} \left(0{,}0014 \frac{h}{m} + 0{,}0765\right) \right\} - G \quad . \quad . \quad (13).$$

2) Und für denselben Druck, nachdem er so viel vermehrt worden, als erforderlich ist, um dem Kolben eine Geschwindigkeit S, oder dem Wasser im Steigrohr eine Geschwindigkeit $\frac{OS}{o} = \frac{M^2}{m^2}$ $\cdot S$ zu geben:

$$0{,}7854\, M^2 \left\{ \left(1 + \frac{4}{5n}\right) h + S^2 \left[0{,}0014 \frac{hM^4}{m^5} + 0{,}0765 \frac{M^4}{m^4} + 0{,}0051 \right] \right\} - G \quad (14).$$

Die Kraft, welche erfordert wird, um den Kolben einer Druckpumpe emporzuziehen, läßt sich berechnen durch die Formeln (9) und (10), welche für die Saugpumpe gefunden worden sind, sobald man für h die Höhe des Kolbens in seinem höchsten Stande über der Oberfläche des zu pumpenden Wassers sitzt; und in der Voraussetzung, daß die Druckpumpe kein Saugrohr FG Fig. 53 habe, sondern einfach sey, läßt sich nach den oben erklärten Grundsätzen die erforderliche Kraft sehr leicht berechnen.

IV. Es ist nicht nöthig für die Hebepumpe ähnliche Berechnungen anzustellen, da die für die Saugpumpe aufgefundenen Formeln auch sogleich auf die Hebepumpe angewendet werden können, wenn man nur in Obacht nimmt, daß die Buchstaben, mit welchen in den gedachten Formeln die Längen und Durchmesser des Saugrohres und des Pumpenstiefels bezeichnet sind, hier die Längen und Durchmesser des Pumpenstiefels und des Steigrohres bezeichnen müssen.

Auch muß man in Obacht nehmen die Richtung der Röhren, durch welche das Wasser sowohl in der Saug- als Hebepumpe über den Kolben gehoben wird; denn ist diese Richtung gekniet und kommen horizontale Querröhren, verbunden mit andern vertikal aufsteigenden Röhren vor, so ist noch eine besondere Kraft erforderlich, um das Wasser durch diese Seitenarme zu treiben, welche Kraft auf dieselbe Weise bestimmt werden muß, wie dieses oben unter Nr. 3 für das Knie ST Fig. 52 und 53 der Druckpumpe angegeben worden ist. Auch muß man noch besonders in Rechnung bringen die Widerstände besonderer Ventile, wenn diese irgendwo über dem Kolben in einer angesetzten Röhre irgendwo über dem Kolben erforderlich seyn sollten, wie z. B. in Fig. 61 Nr. 2.

Der Widerstand der Trägheit, welcher bei der Veränderung der Richtung der Bewegung des Kolbens sich kund gibt, nimmt auch einen gewissen Theil der Kraft in Anspruch; doch kann man ihn nicht in Rechnung bringen, bevor man nicht bestimmt sich entschieden hat, wie der Kolben in Bewegung gesetzt werden soll, entweder durch einen Hebel, oder durch Krummzapfen u. s. w. Im letzten Fall und wenn ein Schwungrad vorhanden ist, wird es bei den genausten Berechnungen nicht erforderlich seyn, auf den Widerstand der Trägheit bei der Abwechslung der Bewegung Rücksicht zu nehmen.

Wenn man endlich die Geschwindigkeit, so wie Hub und Schub des Kolbens einer Pumpe kennt, hat man alle Data, um die Quantität Wasser zu berechnen, welche in einer gewissen Zeit mit Pumpen gehoben wird; denn hierzu ist der Weg in Art. 54 angedeutet.

58) Alles zusammengenommen, was im vorhergehenden Artikel abgehandelt und durch Berechnung gefunden worden ist, so hat man folgendes System von Formeln nöthig, um die Kraft, welche an einer Saug- oder Druckpumpe wirkt, approximativ zu berechnen.

A. Für die Saugpumpe. Es sey der Durchmesser des Pumpenstiefels G I Fig. 51 = M; der Durchmesser des Saugrohres A B = m; die Entfernung vom Pumpenherzen f bis zum Punkte, wo das Wasser ausfließt (vorausgesetzt, daß kein besonderes Steigrohr F vorhanden ist, wie in Fig. 51 Nr. 2) = L; die Länge des Saugrohres = l (wobei auch vorausgesetzt wird, daß der Rost a b nicht vor die Mündung des Saugrohres gelegt sey); der Abstand des Wassers c d vom Ausflußpunkte F = h; das Gewicht von Stange und Kolben minus dem Gewichte des Wassers, welches sie im Pumpenstiefel

verdrängen, = G; die Zahl, wie vielmal die Dicke des Kolbens in dem Durchmesser M enthalten ist = n; die bestimmte Geschwindigkeit des Kolbens = S. Dabei sey angenommen, daß alle Längenmaße u. s. w. in Palmen ausgedrückt sind; so wird das Gewicht, welches erforderlich ist, um die Last, die Widerstände der Reibung und die Ventile u. s. w. im Gleichgewichte zu erhalten, ausgedrückt durch

$$G + 0{,}7854\,M^2 \left\{\left(1 + \frac{4}{5\,n}\right) h + S^2 \left[0{,}045 \frac{M^4}{m^4} + \frac{0{,}0014}{M}\left(L + l \frac{M^5}{m^5}\right]\right\} \ldots\ldots\ldots (a')$$

und wenn die Druckkraft außerdem noch im Stande seyn muß, dem Kolben und dem zu hebenden Wasser eine Geschwindigkeit S zu verleihen, so wird im Ganzen ein Druck erfordert, der in Pfunden approximativ gefunden wird durch die Formel

$$G + 0{,}7854 \cdot M^2 \left\{\left(1 + \frac{4}{5\,n}\right) h + S^2 \left[0{,}05 \frac{M^4}{m^4} + \frac{0{,}0014}{M}\left(L + l \cdot \frac{M^5}{m^5}\right)\right]\right\} \ldots\ldots (b')$$

Um den Kolben mit einer Geschwindigkeit S niedergehen zu lassen, wird ziemlich ein Druck erfordert, welcher ausgedrückt ist durch die Formel

$$0{,}7844\,M^2 \left\{\frac{4\,h}{5\,n} + 0{,}1377\,S^2\right\} - G \ldots . (c')$$

Für die Hebepumpe können dieselben Formeln benutzt werden.

B. Für die **Druckpumpe**. Gewicht oder Druck, erforderlich um die Last und alle vorhandenen Wi-

derstände beim Niedergange des Kolbens zu äquilibriren

$$= 0{,}7854 \cdot M^2 \left\{\left(1 + \frac{4}{5\,n}\right) h + S^2 \cdot \frac{M^4}{m^4} \left(0{,}0014 \cdot \frac{L}{m} + 0{,}0765\right)\right\} - G \;\ldots\ldots\ldots (d')$$

und um zugleich den Kolben mit einer Geschwindigkeit S niederzudrücken, ist ein Druck erforderlich

$$= 0{,}7854 \cdot M^2 \left\{\left(1 + \frac{4}{5\,n}\right) h + S^2 \left[0{,}0014 \cdot L \frac{M^4}{m^5} + 0{,}0765 \frac{M^4}{m^4} + 0{,}0051\right]\right\} - G \;\ldots\ldots (e')$$

In diesen beiden letzten Formeln bezeichnet M den Durchmesser des Pumpenstiefels A B Fig. 52; m den Durchmesser des Steigrohres E; h die Höhe des Ausflußpunktes über dem niedrigsten Stande des Kolbens; L (welches = h gesetzt worden ist) die ganze Länge S T E des Steigrohres vom Pumpenstiefel A B bis zum Ausfließpunkte gerechnet und alle Kniee oder Schenkel mit darunter begriffen; n, S und G haben dieselbe Bedeutung wie oben.

Will man die erforderliche Kraft berechnen, um den Kolben emporzuziehen, so bediene man sich dazu der Formel (a') oder (b'), wenn nämlich die Druckpumpe ein Saugrohr F G Fig. 53 hat. Man setze dann für h die Entfernung der Oberfläche des Wassers vom höchsten Stande des Kolbens, und für m den Durchmesser des Saugrohres (nicht des Steigrohres, welches, während der Kolben gehoben wird, abgesperrt ist).

Endlich kann man aus diesen Formeln, wenn es erfordert wird, solche entwickeln, durch welche die

Kraft nach einem mittlern Durchschnitte bekannt wird, indem man dazu den Weg einschlägt, welcher in Art. 57 am Ende von Nr. 2 in der Formel (c) angegeben ist.

§. III.

Beispiele für die Anwendung der in §. II. bestimmten Grundformeln.

59) Ehe wir zu Beispielen übergehen, muß vorher angegeben werden, mit welcher äußersten Geschwindigkeit der Kolben einer Pumpe bewegt werden kann, so daß das Wasser, welches durch die äußere Luft beim Hub des Kolbens in die Pumpe getrieben wird, dem Kolben leicht folgen könne, denn in §. I. ist bereits angegeben, daß dieses ein wesentliches Erforderniß sey.

Der Druck der äußern Luft ist gleich dem Druck einer Wassersäule, welche man sich so denken kann, als umringe sie die Pumpe bis zu einer Höhe von 10,331 Ellen, wofür man hier jedoch 10 Ellen oder 100 Palmen setzen kann.

Höher wird das Wasser im Pumpenstiefel nie steigen können, so daß der Kolben in seinem höchsten Stande immer einen geringern Abstand als 10 Ellen von der Oberfläche des Wassers haben muß. Diesen Abstand wird man selten viel höher als bis auf 8 oder $8\frac{1}{2}$ Elle bringen dürfen, weil sonst die Geschwindigkeit der Bewegung des Wassers häufig zu gering, oder beinahe = Null werden könnte; denn beim Durchfluß des Wassers müssen die Widerstände der Reibung des Wassers an den Röhren, die Widerstände in Folge der Ventile und die Behinderungen der Zusammenziehung des einströmenden Wassers überwunden werden; und das ausströmende Wasser enthält immer oder führt jederzeit mit

sich viele Luftblasen, welche sich unter dem Kolben in größerer Quantität entwickeln und auf diese Weise eine um so größere Behinderung für das Aufsteigen des Wassers im Pumpenstiefel erzeugen, je nachdem der Kolben in größerer Entfernung von dem äußern Wasser gehoben wird; es finden auch immer mehr oder weniger lecke Stellen statt u. s. w. In der Praxis muß man nun eher unter der Höhe von 8 niederländischen Ellen bleiben, als dieselbe überschreiten.

Es möge der Abstand des Kolbens in seinem höchsten Stande vom äußern Wasser H Palmen betragen; weil man sich nun außerhalb der Pumpe einen vorhandenen Druck auf das Wasser von 100 Palmen denken kann, so wird die Differenz 100 — H die Höhe seyn der eingebildeten, druckausübenden Wassersäule, welche die Bewegung des Wassers im Pumpenstiefel eigentlich verursacht. Gäbe es nun keinen Widerstand von Ventilen, von Reibung u. s. w., so würde die Geschwindigkeit des Wassers im Pumpenstiefel gefunden werden durch die Formel

$$S = 4{,}429 \frac{o}{O} \sqrt{(100 - H)} \text{ Ellen},$$

es ist nämlich o der Durchschnitt des Saugrohres, und O der Durchschnitt des Pumpenstiefels; aber diese Geschwindigkeit wird wegen der vorhandenen Widerstände viel geringer seyn und gefunden werden müssen durch die Berechnung der Formel

$$S = \sqrt{\left(\frac{m^5 M (100 - H)}{0{,}05 M^5 m + 0{,}0014 (L m^5 + l M^5)}\right)} \text{ Palmen},$$

in welcher M und m die Durchmesser der Pumpenstiefel und der Saugröhren sind, L die Länge des Pumpenstiefels, gerechnet vom Herzen der Pumpe

bis zum höchsten Stande des Kolbenbodens, l die Länge des Saugrohres; es müssen die Maße in Palmen genommen werden.

Denn aus den Berechnungen des Art. 57 und aus der Formel (b') des Art. 58 kann man entnehmen, daß, um alle Widerstände zu überwinden, und um dem Wasser im Pumpenstiefel eine Geschwindigkeit S zu geben, eine drückende Wassersäule erforderlich ist, welche eine Höhe hat von

$$S^2 \left\{0{,}05 \frac{M^4}{m} + \frac{0{,}0014}{M} \left(L + l \cdot \frac{M^5}{m^5}\right)\right\} \text{ Palmen;}$$

soll deshalb die bestehende Wasserhöhe 100 H die Geschwindigkeit S erzeugen, so muß 100 H der so eben bestimmten Höhe gleich seyn, und wenn man nun aus der sich ergebenden Gleichung S auflöst, so bekommt man die angegebene Formel.

Diese Formel wird für den Gebrauch noch zweckmäßiger, wenn man sie abhängen läßt von dem Verhältnisse zwischen den Durchschnitten des Pumpenstiefels und der Saugröhre; denn es sey der Durchschnitt des Pumpenstiefels $= q$ multiplicirt mit dem Durchschnitte des Saugrohres (es ist q immer größer als 1), so ist $M^2 = q \cdot m^2$, weil die Quadrate der Durchmesser den genannten Durchschnitten proportional sind. Deshalb wird nun $M = m \sqrt{q}$ werden, und die Formel wird sich gestalten, nachdem sie mit m^5 dividirt worden ist

$$S = \sqrt{\left\{\frac{m\,(\sqrt{q})\,(100 - H)}{0{,}05\, m q^2 \sqrt{q} + 0{,}0014\,(L + l q^2 \sqrt{q})}\right\}} \text{ Palmen (f')}$$

Ist kein Saugrohr vorhanden, wie es in der einfachen Druckpumpe und in der Hebepumpe der Fall ist, so wird $l =$ Null und die Formel ist

$$S = \sqrt{\left\{\frac{m\,(100 - H)\sqrt{q}}{0{,}05\,m\,q^2\sqrt{q} + 0{,}0014 \cdot L}\right\}} \text{ Palmen } (g')$$

Die Geschwindigkeiten, welche diese Formeln angeben, sind auch die äußersten Geschwindigkeiten, mit welchen man den Kolben bewegen kann. In der Praxis bleibt man immer unter denselben, und zwar um so mehr, je enger die Pumpenstiefel sind, und je weniger hart die Substanz ist, aus welcher sie verfertigt sind; denn eine zu große Geschwindigkeit würde die Wandung des Stiefels zu sehr abnutzen und beschädigen und dadurch allein die Pumpe bald in einen lecken Zustand versetzen.

Auf der andern Seite kann die berechnete Geschwindigkeit zu groß werden für den Zweck, oder sie kann den Hebelarm der Kraft im Verhältnisse zu dem, an welchem die Kolbenstange hängt, zu klein angeben, besonders wenn der Abstand des Kolbens vom äußern Wasser klein ist, und wenn also von selbst eine beträchtliche Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser eindringt, stattfindet; oder durch eine zu große Geschwindigkeit kann zu viel Gelegenheit gegeben werden, daß sich eine beträchtliche Quantität Luft aus dem Wasser unter dem Kolben entwickelt, wodurch alsdann der Effect sehr vermindert wird; auch wachsen die Widerstände, von Reibung und Ventilen herrührend, in einem quadratischen oder doppelten Verhältnisse der Geschwindigkeit (wie sich aus den Formeln (a') bis (c') ergibt), und eine große Geschwindigkeit wird dann immer nachtheilig.

In gewöhnlichen kleinen Pumpen geht die Geschwindigkeit selten über 2 Palmen, und in den größten Pumpen überschreitet sie häufig nicht 1 Elle. Die Geschwindigkeit hängt übrigens auch ab von der Höhe, bis zu welcher das emporzuhebende Was-

ser steht, wie sich aus der oben stehenden Formel ergibt. Die Formeln (f') und (g') dienen deshalb nur in den Fällen, daß man, nachdem die Geschwindigkeit des Kolbens voraus bestimmt worden ist, wissen will, ob dem Kolben ohne Zweifel das Wasser folgen könne (wenn die Pumpe übrigens gut verfertigt ist), worauf man auch nur dann bauen kann, wenn die Formeln eine Geschwindigkeit zum Resultate geben, welche reichlich so groß ist, als die bestimmte Geschwindigkeit des Kolbens, z. B: $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{2}$ mehr. Für Pumpen ohne Saugrohr hat man niemals nöthig, eine solche Berechnung anzustellen, und auch dann nicht, wenn der Abstand des Kolbens vom äußern Wasser gering und nicht höher als 3 Ellen ist.

60) Erstes Beispiel. Welche Kraft wird erfordert, um den Kolben einer Saugpumpe zu heben, welcher mit einer Geschwindigkeit von 4 Palmen das Wasser bis auf 2 Ellen über den höchsten Kolbenstand heben soll, wenn die Pumpe und ihre Theile folgende Dimensionen besitzen: Durchmesser des Pumpenstiefels M = 2 Palmen; Durchmesser des Saugrohres m = 1,42 Palmen; Länge des Saugrohres 6 Ellen, wobei es $\frac{1}{2}$ Elle unter Wasser steht; Hub des Kolbens 5 Palmen; Entfernung des Kolbens in seinem tiefsten Stande vom Herzen der Pumpe 1 Palm; Dicke der Kolbenliderung $\frac{1}{2}$ Palm; Gewicht von Stange und Kolben = 6 Pfund.

Um die Formel (f') oder (g') anzuwenden, damit man versichert sey, daß die Geschwindigkeit von 4 Palmen nicht zu groß sey, so setze man in derselben M = 2; m = 1,42; H = dem Kolbenhub + 1 Palm + der Länge des Saugrohres, — dem Theile des Saugrohres, der in das Wasser eintaucht.

$= 5 + 1 + 60 - 5 = 61$ Palmen; $L = 6$, $l = 60$; alsdann bekommt man

$$S = \sqrt{\left\{\frac{(1,42)^5 \cdot 2\,(100 - 61)}{0,05(2)^5 \cdot 1,42 + 0,0014[6 \cdot (1,42)^5 + 60 \cdot (2)^5]}\right\}}$$

$$= \sqrt{\left\{\frac{5,7745 \cdot 78}{0,05 \cdot 32 \cdot 1,42 + 0,0014(6 \cdot 5,7744 + 60 \cdot 32)}\right\}}$$

$$= \sqrt{\left\{\frac{450,411}{2,272 + 0,0014 \cdot 1954,647}\right\}} = \sqrt{\frac{450 \cdot 411}{5,019}}$$

$$= \sqrt{90}$$

und da die Quadratwurzel aus 90 etwas über 9 Palmen beträgt, so wird das Wasser im Pumpenstiefel dem Kolben, dessen Geschwindigkeit 4 Palmen beträgt, leicht folgen können.

Man gehe nun über zur Berechnung der Formel (a') und setze in derselben $G = 7$, $M = 2$, $n = \frac{2}{0,5} = 4$, $h = 81$, $S = 4$, $m = 1,42$, $L =$ der Länge des Pumpenstiefels $= 6$ Palmen $+ 20$ Palmen $= 26$, $l = 60$, so wird für den Kolben eine Zugkraft erfordert von

$$7 + 0,7854 \cdot 4 \left\{\tfrac{8}{8}\, 81 + 16 \left[0,045 \frac{16}{4,064} + \frac{0,0014}{2}\right.\right.$$

$$\left.\left.\left(26 + 60\,\frac{32}{5,77}\right)\right]\right\} =$$

$$7 + 3,1416(97,2 + 16[0,177 + 0,0007 \cdot 358,75]) =$$

$$7 + 3,1416\,(97,2 + 6,85) = 7 + 3,1416 \cdot 104,06$$

$$= 334 \text{ Pfund.}$$

Berechnet man die Formel (b') auf dieselbe Weise, so wird sich aus derselben ergeben, daß ein Druck erforderlich ist von 335 Pfund, um alle Wi-

derstände zu überwinden und dem Kolben zu gleicher Zeit die Geschwindigkeit von 4 Palmen zu geben.

Die eigentliche Last des Wassers, welches gehoben werden muß, ist = 3,1416 · 81 = 254,47 Pfund; Gewicht von Stange und Kolben = 7 Pfd.; der Widerstand der Reibung des Kolbens = 49,5 Pfund, und der Widerstand von den Ventilen und der Reibung des Wassers an den Wänden der Röhre = 23,03 Pfund, welcher letztere Widerstand deshalb der geringste von allen ist, obschon groß genug, um in Betrachtung zu kommen. Um jedoch zu zeigen, wie sehr dieser letztere Widerstand mit der Verengerung der Röhren zunimmt, so setze man alles wie oben, bestimme jedoch den Durchmesser des Saugrohres auf 1 Palm, so findet man

1) durch die Formel (f'), daß die Geschwindigkeit des Wassers im Pumpenstiefel nur etwas mehr als 4 Palmen betragen werde; und

2) ergibt sich dann aus der Formel (a'), daß derjenige Theil des Widerstandes, welcher aus der Reibung des Wassers, so wie aus den Behinderungen der Ventile und aus den Zusammenziehungen entspringt, eine Zugkraft erheischt von beinahe 100 Pfund, und also fünfmal soviel als in dem bestimmten Falle. Wäre der Durchmesser des Saugrohres demjenigen des Pumpenstiefels gleich, oder m = M, dann würde dieser Widerstand sehr gering seyn. Hieraus sieht man, wieviel darauf ankommt, bei der Bestimmung der Dimensionen und bei der Construction der Pumpen den Durchmesser des Saugrohres soviel wie möglich dem Durchmesser des Pumpenstiefels gleich zu machen.

Vergleicht man das Gewicht der zu hebenden Last mit dem Drucke, welcher im Ganzen angewendet werden muß, dann ergibt sich, daß wegen der bestehenden Widerstände $\frac{1}{3}$ der eigentlichen Last mehr

gehoben werden muß, als es, ohne einen Widerstand in Anschlag zu bringen, der Fall seyn würde. Dafür kann man jedoch in der Praxis recht gut $\frac{1}{2}$ und sogar $\frac{3}{4}$ mehr setzen, weil die Maschine selten die Vollkommenheit besitzt, welche hier angenommen wird; weil die Widerstände größer seyn können; weil Luft und Wasser durch lecke Stellen durchdringen können u. s. w.; so wie auch endlich, weil die Kraft immer ein reichliches Uebermaß über die Last haben muß.

Die Reibung des Kolbens gewährt einen beträchtlichen Widerstand, wenn er genau in den Pumpenstiefel paßt und jedes Durchdringen des Wassers verhindert. Dieser Widerstand ist jedoch unvermeidlich mit der Art dieser Maschine vergesellschaftet und man wird denselben in Fällen, wo es auf große Genauigkeit ankommt, nicht vermindern können. Aber die Quantität der Reibung, welche in Art. 57 auf $\frac{1}{4}$ des Druckes gesetzt ist, wird in genau verfertigten Pumpen recht gut auf $\frac{1}{7}$ gelangen können; auch ist in dem gegebenen Beispiele die Dicke des Kolbens auf $\frac{1}{4}$ seines Durchmessers gesetzt, während dieselbe in weitern Pumpen recht gut auf $\frac{1}{6}$ bestimmt werden kann, so daß alsdann der Widerstand der Reibung ansehnlich vermindert wird. Man wende dieses auch nicht an auf kleine Pumpen für häuslichen und dergleichen Gebrauch, denn in solchen Pumpen schließen die Kolben mit sehr geringer Klemmung in ihren Pumpenstiefeln, weil dabei nichts darauf ankommt, ob einige lecke Stellen vorhanden sind; und für dergleichen Pumpen brauchen auch nie Berechnungen, gleich den oben stehenden angestellt zu werden. Uebrigens ist noch zu bemerken, daß die Reibung eines mit Leder geliderten Kolbens in einem bleiernen Pumpenstiefel oder in einem dergleichen aus Zink, nicht sehr groß ist, sobald die

Oberfläche durch den beständigen Hub und Schub des Kolbens glatt geschliffen ist, und daß man in jedem Falle auch in den oben erwähnten Pumpen eine große Reibung, welche durch eine zu starke Klemmung des Kolbens erzeugt wird, vermeiden müsse, damit jederzeit eine mäßige Kraft erforderlich sey, um die Pumpe in Thätigkeit zu setzen.

Die Kraft eines Arbeiters, der anhaltend pumpt, kommt etwa darauf hinaus, daß er 15 Pfund mit einer Geschwindigkeit von 4 Palmen hebt. Hieraus folgt, daß, wenn man die Kraft von $\frac{334}{15} = 22$ Arbeitern an das Ende eines gleicharmigen Hebels bringt, mit dessen anderem Ende die Kolbenstange verbunden ist, alsdann die fragliche Pumpe auf die verlangte Weise in Bewegung gehalten werden könne, und bei jedem doppelten Kolbenzug eine Quantität von 5 Palmen $\times$ 0,7854 $\times$ 4 Quadratpalmen $=$ 15,7 Kubikpalmen Wasser 8,1 Elle hoch über die Oberfläche des aufzupumpenden Wassers heben werde, unbeschadet der lecken Stellen, die manchmal auf $\frac{1}{20}$ veranschlagt werden können.

Berechnet man durch die Formel (c') den Druck, welcher erforderlich ist, um den Kolben mit einer Geschwindigkeit von 4 Palmen niederzutreiben, so wird man finden, daß dieser Druck gleich seyn müsse demjenigen eines Gewichtes von 50 Pfund.

Beim Hub und Schub legt der Kolben einen Weg von 10 Palmen zurück, und da in 1 Secunde die Geschwindigkeit 4 Palmen beträgt, so werden $2\frac{1}{2}$ Secunden erforderlich seyn für den Hub und für den Schub des Kolbens. Man nehme aber dafür 3 Secunden, weil bei Veränderung der Richtung der Kolbenbewegung doch ein Augenblick verläuft. In 3 Secunden werden nun 15 Kubikpalmen Wasser gehoben, was für 1 Minute eine Quantität von 300

Kubikpalmen, und für 1 Stunde eine Quantität von 18 Kubikellen beträgt.

61) **Zweites Beispiel. Unter denselben Voraussetzungen, wie im ersten Beispiele die Kraft zu bestimmen, wenn die Pumpe eine Druckpumpe ist.**

In der Formel (d'), welche hier angewendet werden muß, ist nun M = 2; m = dem Durchmesser des Steigrohres = 1,42; h = dem Abstande des Ausflußpunktes vom niedrigsten Kolbenstande = 25 Palmen; S = 4; und L wollen wir annehmen = 35 Palmen. Trägt man nun diese Werthe in die Formel (d') über, so bekommt man

$$\text{Druckkraft} = 0,7854 \cdot 4 \left\{ \tfrac{6}{5} \cdot 25 + 16 \cdot \frac{16}{(1,42)^4} \left(0,0014 \frac{35}{1,42} + 0,0765\right) \right\} - 7$$

$$= 3,1416 \left\{ 30 + \frac{256}{4,064} [0,0247 + 0,0765] \right\} - 7$$

$$= 3,1416\,(30 + 63 \cdot 0,101) - 7 = 3,1416 \cdot 36,4 - 7 = 107 \text{ Pfund.}$$

Dieser anzuwendende Druck ist also beträchtlich verschieden von demjenigen, der sich bei der Saugpumpe nöthig macht, weil der Kolben einer Druckpumpe das Wasser nur vom Pumpenherzen aus hebt, während der Kolben einer Saugpumpe dasselbe zu gleicher Zeit auch noch aus dem Wasserbehälter durch das Pumpenherz heben muß. Dem gegenüber steht jedoch, daß, wenn eine Druckpumpe mit einem Saugrohre versehen ist, dann bei dem Hube des Kolbens auch die Schwere der ganzen Wassersäule von der Basis des Kolbens bis an die Oberfläche des äußern Wassers gehoben werden müsse. Was

deshalb mit der Saugpumpe auf einen einzigen Zug des Kolbens erreicht wird, geschieht mit der Druckpumpe erst in zwei Zügen, und wenn das Heben des Kolbens einer Druckpumpe durch einen Hebel der zweiten Art eben so leicht durch die bewegende Kraft als das Niederschieben des Kolbens bewirkt werden kann, so muß die Kraft an einer Druckpumpe regelmäßiger, und also auch vortheilhafter, als an einer Saugpumpe wirken können; man kann sogar alsdann eine Druckpumpe mit weniger Kraft in Thätigkeit versetzen und viel regelmäßiger bewegen, als eine Saugpumpe von gleichen Dimensionen, weil die Last theils beim Hub, theils beim Schub des Kolbens gehoben wird, und nicht gleich auf einmal, wie es bei der Saugpumpe der Fall ist.

62) Die zwei ausgearbeiteten Beispiele werden ausreichend seyn, um die Anwendung der Formeln, welche im vorhergehenden §. angegeben sind, zu erklären. Man kann durch diese Formeln jedoch alle Fragen auflösen, die aufgeworfen werden, um mit einer Pumpe von gegebenen Dimensionen einen bestimmten Effect zu erreichen, oder um nach einer vorhandenen Kraft eine Saug- oder Druckpumpe gehörig abzumessen; aber sowohl für den gegenwärtigen Zweck, als für die Anwendungen, welche weiter unten angegeben werden sollen, sind dergleichen Verbreitungen jetzt weniger nothwendig.

Das Ergebniß einer Pumpe wird für eine gewisse Zeit, wo sie anhaltend arbeitet, stets größer, je weiter sich der Kolbenzug extendirt, weil dann in derselben Zeit weniger Kolbenzüge geschehen, als wenn der Kolbenzug kürzer ist, und dadurch geht weniger Zeit und Kraft verloren bei der Veränderung der Bewegungsrichtung des Kolbens. Aber der Kolbenzug kann (ohne die besondern Umstände

des Zweckes, des Ortes und der Art der Mittheilung der Bewegung in Betrachtung zu ziehen, die seine Extension meistentheils bestimmen) nicht beliebig vergrößert werden, weil bei seiner Vergrößerung auch die Gelegenheit zur Luftentbindung unter dem Kolben von längerer Dauer wird; und dieses muß also wiederum eine Verminderung in dem Ergebnisse bei jedem Zuge zur Folge haben können. Je kleiner der Abstand des Pumpenstiefels von der Oberfläche des zu hebenden Wassers ist, desto kleiner kann man den Kolbenzug einrichten. Die richtige Größe des Kolbenzugs ist schwer, genau zu bestimmen, wenn dieselbe nicht, wie es häufig der Fall ist, durch Umstände bestimmt wird; jedoch kann man dieselbe in den meisten Fällen mit Sicherheit noch einmal so groß nehmen, als den Raum, den der Kolben in 1 Secunde durchlaufen soll. Je größer übrigens der Kolbenzug ausfallen kann, desto vortheilhafter, nicht allein für den Effect, sondern auch desto geschwinder und vollkommener wird man die Luft schon mit den ersten Kolbenzügen auspumpen und die Pumpe in Thätigkeit bringen können (siehe ferner §. V.).

§. IV.

Angabe einiger Einrichtungen und Constructionen von Pumpenwerken, durch welche ein ununterbrochener Ausfluß von Wasser hergestellt wird.

63) Die Pumpen haben, wenn sie, wie oben beschrieben worden, eingerichtet sind, die große Unannehmlichkeit, allein beim Hub oder beim Schub des Kolbens Wasser zu geben, und deshalb eine unterbrochene Wirkung zu gewähren. Man hat auf vielerlei Art diese Unbequemlichkeit, oder diese unregelmäßige Wirkung zu beseitigen oder zu ver-

mindern gesucht, und obschon diese Abhandlung nicht bestimmt ist, um die verschiedenen und vielerlei bestehenden Arten von Pumpen kennen zu lernen, so wird es doch nicht unnütz und unzweckmäßig seyn, anzugeben, wie man eine Pumpe einrichten kann oder muß, damit ein anhaltender Ausfluß des Wassers stattfinde; diese Angabe wird sich nur auf die Hauptsache beschränken und in keiner Hinsicht umständlich seyn können.

I. Zuerst kann man durch Anbringung einer Luftkammer oder eines sogenannten Windkessels einen anhaltenden Ausfluß des Wassers aus einer Saug- oder Druckpumpe bewirken. Es sey A B C D Fig. 67 z. B. eine Druckpumpe, welche das Wasser durch die vertikale Röhre oder das sogenannte Steigrohr C D hebt, und es sey der horizontale Arm B C verbunden mit einer zweiten vertikalen Röhre E F, die für den Fall der Noth ein Lufthähnchen a besitzt, und übrigens, obschon mit Luft gefüllt, ganz und gar luftdicht verschlossen ist, so wird alsdann Folgendes stattfinden: Ist der Kolben emporgezogen und die Röhre C D gefüllt, so wird das Wasser im Kessel bis zu einer gewissen Höhe b c gelangt seyn, und die Luft wird so sehr zusammengedrückt seyn, daß ihre Elasticität den Druck der Wassersäule c D und denjenigen der Atmosphäre, die auf die Oberfläche des Wassers D drückt, im Gleichgewicht erhält. Wird nun der Kolben niedergedrückt, so wird das Wasser zum Theil in den Windkessel, zum Theil in das Steigrohr D gebracht; die Kraft wird dann durch Vermittlung des Wassers die Luft im Windkessel zusammendrücken und auf diese Weise ihre Elasticität vergrößern, während ein anderer Theil der Kraft verwendet wird, das Wasser aus dem Steigrohre zu treiben. Geht der Kolben empor und wird das Ventil B geschlos-

sen, alsdann hört auch die Compression der Luft im Windkessel auf, und diese Luft wird sich dann ausdehnen, das Wasser, welches beim Niedergange des Kolbens in den Windkessel gepreßt worden, zurückstoßen und durchs Steigrohr austreiben. Es findet alsdann sowohl beim Hub als beim Schub des Kolbens Austreibung des Wassers statt, obschon im Ganzen nicht mehr Wasser gehoben wird, als auch ohne den Windkessel gehoben werden würde; aber das Ausströmen ist anhaltend, und dieses kann in sehr vielen Fällen, wie z. B. in Feuerspritzen und in großen Pumpenwerken, durch welche das Wasser beständig mittelst Leitungsröhren nach gewissen Orten geführt werden muß, von sehr großem Belang seyn.

Die Kraft, welche auf eine Pumpe wirkt, welche mit einem Windkessel versehen ist, ist ganz dieselbe, wie in dem Falle, wo kein Windkessel vorhanden ist; denn (um beim Beispiele der Druckpumpe stehen zu bleiben, obschon alles auch auf die Saug- und Hebepumpen anwendbar ist), beim Niedergange des Kolbens muß in jedem Falle alles Wasser, welches unter dem Kolben steht, in das Steigrohr und in den Windkessel getrieben werden, und die ganze Wassersäule von der Basis des Kolbens bis zum Ausflußpunkte gerechnet, auf dieselbe Weise beständig getragen werden. Es ist deshalb bei Anwendung eines Windkessels eine größere Kraft nöthig, als ohne denselben erfordert wird, weil das Wasser, während es in den Windkessel getrieben wird, genöthigt ist, die Richtung seiner Bewegung zu verändern (siehe Art. 57 d Nr. III.) und eine Vermehrung der Reibung an den Wänden des Luftkessels erzeugen muß. Jedoch wird dieser nöthige Zuschuß der Kraft selten beträchtlich seyn können, wenn man den Windkessel auf eine zweckmäßigere

Weise anbringt, als in Fig. 57 angegeben ist. Die Betrachtung der Fig. 58 wird ein genügendes Beispiel einer solchen vortheilhaftern Anbringung des Windkessels seyn.

Wenn der Windkessel solche Dimensionen besitzt, daß der Kolben beim Niedergange die eine Hälfte und die zusammengedrückte Luft beim Steigen des Kolbens die andere Hälfte der Wasserquantität ins Steigrohr treibt, so entspricht er dem Zwecke auf die beste Weise, aber ein regelmäßiger Ausfluß des Wassers kann nicht stattfinden, denn im ersten Augenblicke, wo die comprimirte Luft sich ausdehnt, drückt sie mit ihrer größten Kraft aufs Wasser und das Ausströmen erfolgt mit der größten Geschwindigkeit. Diese Geschwindigkeit wird sich jedoch, wie ganz natürlich ist, vermindern müssen, je nachdem die Luft an Dichtheit und an Ausdehnungskraft abnimmt, bis sie zuletzt = Null ist, wo alsdann die Elasticität der Luft mit der Wassersäule CD und mit dem Drucke der äußern Luft im Gleichgewichte steht.

Das gleichmäßigste Ausströmen bewirkt man durch abwechselnde Bewegung zweier Pumpen; jedoch wird alsdann die Zugabe eines Windkessels nicht immer überflüssig seyn, wenn das Ausströmen auch während der kurzen Augenblicke stattfinden soll, wo die Abwechslung der Bewegung der Kolben vor sich geht. Sind drei oder mehr Pumpen vorhanden, welche mittelst einer Kurbel mit drei Armen, oder auf eine andere Weise so bewegt werden, daß immer noch eine Pumpe in Thätigkeit ist, wenn die andern die Richtung ihrer Bewegung verändern, so kann man einen Windkessel entbehren, und dieses ist im Großen alsdann von um so größerm Gewicht, weil die Construction und luftdichte Verschließung solcher Luftkessel im Großen schwierig wird, und

weil es häufig auch schwierig ist, die Luft in hinlänglicher Quantität und bis zu demselben Grade der Spannung in demselben zu unterhalten, da das Wasser, welches mit Gewalt aus dem Kessel durch die Röhren getrieben wird, eine beträchtliche Quantität Luft bei sich führt. Uebrigens haben die Windkessel den Nutzen, daß bei ihrem Gebrauche die bleiernen oder ledernen Röhren u. s. w. weniger Schaden leiden, als sonst der Fall seyn kann, weil das Wasser nicht auf einmal in der vollen Quantität durch die Röhren getrieben wird, so daß also die Durchströmung nicht so groß und der Andrang des Wassers weniger stark, für die Röhren also weniger schädlich ist.

Wenn der Pumpenstiefel einer Pumpe nicht dicht über das Wasser, oder über den Wasserbehälter gebracht werden kann, sondern in einer beträchtlichen Entfernung von demselben sich befindet, und wenn deshalb das Saugrohr mit einem horizontalen Schenkel und mit zwei Kniestücken vom Sammelbehälter bis zur Pumpe fortläuft, so kann ein Windkessel, welcher irgendwo mit der Saugröhre in Verbindung steht, einen nützlichen Dienst erweisen, um den Einfluß des Wassers in den Pumpenstiefel mehr zu reguliren und denselben anhaltend im Saugrohre stattfinden zu lassen.

Die Dimension eines Windkessels muß regulirt werden nach der Quantität Wasser, welche durch den Kolben bei jedem Hub oder Schub gehoben werden soll, und auch nach der Höhe, bis zu welcher das Wasser über die Mündung des Kessels zu heben ist. Je größer diese beiden sind, desto größer muß auch der Windkessel seyn. Der Kubikinhalt desselben überschreitet selten das Sechsfache der Quantität Kubikpalmen oder Ellen Wassers, welche bei jedem Hub oder Schub zu Tage gefördert werden

müssen; aber dieses Maß kann nicht unveränderlich seyn, indem dasselbe auch von der Höhe abhängt, bis zu welcher das Wasser gehoben werden muß; und man muß also in jedem Falle, in welchem es auf Genauigkeit ankommt, die Größe des Windkessels durch Berechnung bestimmen. Die nähere Entwickelung, so wie auch die besonderen Anmerkungen über die Form der Windkessel werden jedoch hier bei Seite gesetzt, indem sie für den gegenwärtigen Zweck von geringerer Wichtigkeit sind, als es der Fall seyn würde, wenn diese Abhandlung für eine vollständige Entwickelung aller Arten von Pumpenwerken, und was dazu gehört, bestimmt wäre.

II. Oben ist bereits bemerkt worden, daß die gleichzeitige Thätigkeit zweier Pumpen auch ziemlich vollständig ein anhaltendes Ausströmen des Wassers gewährt, oder wenigstens bewirkt, daß sowohl beim Hub, als beim Schub des Kolbens Wasser zu Tage gefördert wird, und daß deshalb der durch die bewegende Kraft zu überwindende Widerstand gleichmäßig ist, ferner auch daß kein Verlust an Zeit und Kraft statrfindet, was bei den gewöhnlichen Pumpen der Fall ist. Die vereinigte Thätigkeit zweier Pumpenkolben kann auf verschiedene Weise ausgeführt werden, aber die drei folgenden Arten dürften wohl als die vornehmsten betrachtet werden.

a) Zwei Kolben A und B Fig. 59, welche in zwei Pumpenstiefeln arbeiten. Diese Pumpe besteht nur aus einer gewöhnlichen Saugpumpe A E, an welcher, wie bei einer Druckpumpe, eine Seitenröhre C D gesetzt ist. Die zwei Röhren A C und C D, welche über dem Pumpenherzen mit einander verbunden sind, haben eine freie Communication, ohne durch ein vertikales Ventil geschieden zu seyn; der Kolben A ist derjenige einer Saug-

pumpe und der Kolben B derjenige einer Druckpumpe. Beide Kolbenstangen sind durch ein Querhaupt mit einander verbunden, und werden deshalb gleichzeitig bewegt. Wenn die Kolben emporgehen, füllen sich beide Pumpenstiefel mit Wasser, und der Kolben A hebt die über ihm stehende Wassersäule empor; beim Niedergange der Kolben ist das Herz der Pumpe geschlossen, und der Druckpumpenkolben B treibt das unten stehende Wasser in den Stiefel der Saugpumpe durch das geöffnete Ventil a des Kolbens A, und so immer weiter empor, wo der Ausfluß stattfindet. Soll das Ausströmen regelmäßig von Statten gehen, so müssen die beiden Pumpenstiefel einerlei Durchmesser haben, während die Weite und Höhe des Saugrohres hier vor Allem so regulirt werden muß, daß beim Hube der Kolben die beiden Pumpenstiefel gehörig gefüllt werden können.

b) Zwei Kolben A und B Fig. 60, welche in demselben Pumpenstiefel arbeiten. Die Figur gibt diese Pumpe im Durchschnitt, welcher über die Mitte a b des Ventiles C genommen ist. Die Stange c d des obersten Kolbens ist außer dem Centrum der Mittelwand des Kolbens mit demselben verbunden. Die Stange e f des untersten Kolbens läuft durch eine Büchse g h, welche in die eben genannte Mittelwand des obersten Kolbens in gleicher Entfernung vom Mittelpunkte, wie die Stange c d gearbeitet ist. Diese Stangen gehen mit ihren Kolben abwechselnd auf und nieder. Wenn der oberste Kolben emporgeht und Wasser hebt, steigt der untere Kolben nieder; das Herz der Pumpe ist alsdann geöffnet, und das Wasser fließt durch die Ventile des Kolbens B in den Pumpenstiefel. Beim Niedergange des obersten Kolbens wird der unterste

sammt dem über ihm stehenden Wasser emporgehoben, das durch die Ventile des obersten Kolbens getrieben wird und endlich ausfließt. (Was die weitern Details der Construction anlangt, so ziehe man die Figur zu Rathe.)

Diese Pumpe besteht aus weniger Theilen als die vorhergehende, doch verlangt sie eine weit genauere und sorgfältigere Ausführung. Die Stange e f muß so genau wie möglich in der Büchse des Kolbens A mit vollem Schluß sich bewegen, damit beim Niedergange des Kolbens B kein oder beinahe kein Wasser durchdringen kann. Der Zug des Kolbens kann nur sehr kurz seyn.

Diese Pumpe wird mit Nutzen auf großen Schiffen angewendet, aber von größern Dimensionen, als für den Schiffsgebrauch nöthig ist, trifft man sie nicht an. Unter den doppelten Pumpen von mittelmäßiger oder gewöhnlicher Größe kann man sie noch zu der einfachen Art rechnen.

c) Ein Kolben, welcher das Wasser, das durch zwei verschiedene Saugröhren einströmt, sowohl beim Hub, als beim Schub emporfördert. Die meisten der doppelten Pumpen, welche die hier angegebene Einrichtung haben, sind nur Modificationen der doppelten Pumpe, von deren Einrichtung in Art. 55 Fig. 54 ein Beispiel gegeben ist; sie werden im Großen angewendet, können ihre Pumpenstiefel in jeder Lage schräg, wagerecht oder senkrecht gerichtet haben; sie sind für die Benutzung im Großen das einfachste Mittel, um ein anhaltendes Ausströmen von Wasser zu bewirken, jedoch müssen die vier vorhandenen Ventile und die Verdoppelung der Saugröhren einen beträchtlichen Widerstand erzeugen, nicht zu gedenken der unangenehmen Abnutzung der Ventile.

Es gibt noch viele andere Arten von Pumpen, wie z. B. Gebläsepumpen, Pumpen mit Kolben von kreisförmiger Bewegung, Pumpen mit Kolben ohne Reibung u. s. w., aber die Beschreibung derselben liegt außer den Grenzen dieses Werks.

§. V.

Vorschriften, welche bei der Bestimmung der Dimensionen der Pumpenstiefel, Saugröhren u. s. w. in Obacht zu nehmen sind.

64) Bevor man die Länge der Pumpenstiefel und Saugröhren den obwaltenden Zwecken und Umständen gemäß bestimmt, muß man die Ueberzeugung zu erlangen suchen, ob dieselben nicht ein solches Uebermaß der Länge besitzen, daß das Wasser gehindert werden würde, bis in die Pumpenstiefel gehörig zu steigen; denn wenn auch der Kolben einer Saug- oder Druckpumpe (die mit Saugröhren versehen sind) einen kleinern Abstand hat von der Oberfläche des emporzufördernden Wassers, als 8 Ellen, oder um diesen Betrag herum (welches in der Praxis beinahe der größte Abstand ist, den man dem Kolben von der Oberfläche des äußern Wassers geben kann), so ist es jedoch möglich, daß nicht die ganze Quantität Luft ausgepumpt werden kann, und daß deshalb das Wasser den Kolben nicht erreichen kann, sondern in einer gewissen Entfernung von demselben stehen bleiben muß, wie lang man auch zu pumpen fortfährt. Man kann alsdann die Pumpe nicht in Thätigkeit bringen, ohne sie vorher ganz mit Wasser zu füllen, und diese Unbequemlichkeit darf bei dem Gebrauch einer Pumpe gar nicht stattfinden.

Die Ursache dieses Stillstandes oder dieses Mangels ist leicht zu begreifen; denn man setze

z. B. bei der Saugpumpe Fig. 51 voraus, daß das Wasser bereits durchs Herz der Pumpe gedrungen und bis zur Höhe qr gestiegen sey, während der Kolben in op seinen tiefsten Stand hat, alsdann hat die Luft oprq dieselbe Elasticität wie die äußere Luft, wenigstens kann sie nicht größer seyn, weil sonst das Ventil g von dem Kolben durch die größere Spannung der Luft opqr geöffnet werden würde. Wird nun der Kolben bis zu kl gehoben, so kann die Luft oprq sich nicht gut im größern Raum klpo ausdehnen, aber die Höhe der Wassersäule qrie wird so groß seyn können, daß die Elasticität der Luft qrlk sammt dem Drucke der Säule qrie gleich ist dem Drucke der äußern Luft, da jedoch diese ein Uebermaß des Druckes haben muß, um das Wasser in den Röhren zum Steigen zu bringen. Wenn deshalb der Kolben emporgezogen wird, so kann der Fall eintreten, daß das Wasser bis qr unter demselben stehen bleibt; steigt der Kolben wieder nieder bis op, so wird die Luft klrq zusammengedrückt bis auf das kleinere Volumen oprq, aber weil sie bei diesem Volumen von gleicher Elasticität mit der äußern Luft angenommen worden ist, so kann das Ventil g beim Niedergange des Kolbens nicht mehr aufgedrückt werden. Diese Luft bleibt deshalb unter dem Kolben immer in derselben Quantität vorhanden, und das Wasser kann dann auch niemals höher steigen, als bis qr.

Vom Wasser wird hier angenommen, daß es bereits bis ans Pumpenherz gestiegen sey, aber dieser Stillstand oder dieser Mangel kann stattfinden, wenn das Wasser noch nicht bis zum Pumpenherzen gelangt ist. Das Wasser kann alsdann im Saugrohre bei derselben Höhe stehen bleiben, wenn die Elasticität der Luft (die sich zwischen der Oberfläche des Wassers und der Basis des Kolbens be-

Es gibt noch viele andere Arten von Pumpen, wie z. B. Gebläsepumpen, Pumpen mit Kolben von kreisförmiger Bewegung, Pumpen mit Kolben ohne Reibung u. s. w., aber die Beschreibung derselben liegt außer den Grenzen dieses Werks.

§. V.

Vorschriften, welche bei der Bestimmung der Dimensionen der Pumpenstiefel, Saugröhren u. s. w. in Obacht zu nehmen sind.

64) Bevor man die Länge der Pumpenstiefel und Saugröhren den obwaltenden Zwecken und Umständen gemäß bestimmt, muß man die Ueberzeugung zu erlangen suchen, ob dieselben nicht ein solches Uebermaß der Länge besitzen, daß das Wasser gehindert werden würde, bis in die Pumpenstiefel gehörig zu steigen; denn wenn auch der Kolben einer Saug- oder Druckpumpe (die mit Saugröhren versehen sind) einen kleinern Abstand hat von der Oberfläche des emporzufördernden Wassers, als 8 Ellen, oder um diesen Betrag herum (welches in der Praxis beinahe der größte Abstand ist, den man dem Kolben von der Oberfläche des äußern Wassers geben kann), so ist es jedoch möglich, daß nicht die ganze Quantität Luft ausgepumpt werden kann, und daß deshalb das Wasser den Kolben nicht erreichen kann, sondern in einer gewissen Entfernung von demselben stehen bleiben muß, wie lang [illegible] auch zu pumpen fortfährt. Man kann alsd[illegible] Pumpe nicht in Thätigkeit bringen, ohn[illegible] ganz mit Wasser zu füllen, und diese [illegible] keit darf bei dem Gebrauch ein[illegible] stattfinden.

Die Ursache [illegible] Mangels ist [illegible]

z. B. bei der Saugpumpe Fig. 31 [illegible] Wasser bereits durchs Herz der [illegible] und bis zur Höhe qr gestiegen sey, [illegible] Kolben in op seinen tiefsten Stand [illegible] hat die Luft oprq dieselbe Elasticität wie die äußere Luft, wenigstens kann sie nicht größer seyn, weil sonst das Ventil z von dem Kolben durch die größere Spannung der Luft oprq geöffnet werden würde. Wird nun der Kolben bis zu kl gehoben, so kann die Luft oprq sich nicht zum größern Raum klpo ausdehnen, aber die Höhe der Wassersäule qrie wird so groß seyn können, daß die Elasticität der Luft qrlk sammt dem Drucke der Säule qrie gleich ist dem Drucke der äußern Luft, da jedoch diese ein Uebermaß des Druckes haben muß, um das Wasser in den Röhren zum Steigen zu bringen. Wenn deshalb der Kolben emporgezogen wird, so kann der Fall eintreten, daß das Wasser bis qr unter demselben stehen bleibt; steigt der Kolben wieder nieder bis op, so wird die Luft klrq zusammengedrückt bis auf das kleinere Volumen oprq, aber weil sie bei diesem Volumen von gleicher Elasticität mit der äußern Luft angenommen worden ist, so kann das Ventil z beim Niedergange des Kolbens nicht mehr aufgedrückt werden. Diese Luft bleibt deshalb unter dem Kolben immer in derselben Quantität vorhanden, und das Wasser kann dann auch niemals höher steigen, als bis qr.

[illegible] wird hier angenommen, daß es [illegible] gestiegen sey, aber dieser [illegible] Mangel kann stattfinden, bereits [illegible] bis zum Pumpenber[illegible] [illegible] kann alsdann im [illegible] Das Wasser [illegible] Höhe stehen bleiben, wenn [illegible] sich zwischen der Ober[illegible] [illegible] Basis des Kolbens b[illegible]

findet, wenn dieser in seinem höchsten Stande ist) sammt dem Gewichte der Wassersäule im Saugrohre mit dem Drucke der äußern Luft im Gleichgewichte steht, und wenn zugleich die Elasticität der Luft, während der Kolben niedergeht, geringer bleibt, als die Elasticität der äußern Luft, so daß weder die Ventile des Kolbens einer Saugpumpe, noch das Ventil des Steigrohres einer Druckpumpe durch die Zusammendrückung der innern Luft geöffnet werden können.

Man wird aus dieser Angabe entnehmen können, daß der erwähnte Mangel hauptsächlich entsteht durch eine zu große Länge des Saugrohres und durch den zu kurzen Kolbenzug. Ist das Saugrohr lang, so kann dem Mangel abgeholfen werden, wenn man den Kolben einen großen Raum durchlaufen läßt; je länger dann das Saugrohr ist, desto größer muß der Kolbenzug genommen werden, aber hierin ist man manchmal beschränkt, wie aus §. III. hervorgegangen ist. Kann man den Kolbenzug nicht groß nehmen, so wird derselbe Mangel auch vermieden, wenn man die Weite der Saugröhre viel kleiner nimmt, als diejenige des Pumpenstiefels; jedoch nimmt dann der zu überwindende Widerstand beträchtlich zu, wie sich in §. III. aus dem ersten Beispiele ergeben hat, und diese Einrichtung kann man deshalb, wenn die Saugröhre lang seyn muß, nur in dem Falle wählen, daß ein Zuschuß der Kraft in keine Verlegenheit setzt.

Es gibt im Allgemeinen zwei Regeln, welche man befolgen muß, um versichert seyn zu können, daß die Pumpe einen guten Effect geben wird, oder daß kein Stillstand des Wassers in den Röhren bestehe, und diese Regeln sind folgende:

1) Den Zug des Kolbens im Pumpenstiefel so zu bestimmen, daß der Kolben in seinem tiefsten Stande dem Pumpenherzen so nahe wie möglich komme, d. h. das Saugrohr bis zum tiefsten Kolbenstande zu extendiren; denn dadurch wird der Raum opq Fig. 51, in welchem die Luft sich unter den Kolben begeben kann, so klein wie möglich, und wenn das Wasser dann bis zum Herzen der Pumpe dringen kann, darf man überzeugt seyn, daß es auch vom Kolben werde gehoben werden können.

Der Zug des Kolbens darf jedoch nicht ganz bis ans Herz der Pumpe reichen, weil alsdann das Ventil f beim Hub des Kolbens nicht sogleich aufgehen könnte, während die Kraft, welche an der Stange des Kolbens wirkt, dann im ersten Augenblicke beinahe die ganze Last der Atmosphäre, die auf die Oberfläche des oben stehenden Wassers drückt, zu überwinden haben würde. In der Druckpumpe Fig. 53 darf über dieses der Kolben nicht weit darüber hinaus, oder nur bis an die Mündung S des Steigrohres sich fortsetzen; sonst könnte der Kolben bei seinem Hube beschädigt werden; übrigens ist es auch einleuchtend, daß das Steigrohr einer Druckpumpe so nahe wie möglich am Herzen der Pumpe seinen Anfang nehmen müsse.

II. Es ist eine ausgemachte Sache, daß das Wasser in den Röhren einer Pumpe gehörig steigen kann, wenn das Quadrat der halben Höhe des Kolbens in seinem höchsten Stande über der Oberfläche des äußern Wassers kleiner ist, als das Produkt des Kolbenzuges mit der Höhe der Wassersäule, welche den Druck der Atmosphäre im Gleichgewichte hält.

Diese Regel, deren Beweis hier nicht gegeben werden kann, ist gefolgert in der Voraussetzung, daß die Saugröhre eben so weit sey, als der Pumpenstiefel. Ist deshalb die Saugröhre nicht so weit, als der Pumpenstiefel, so kann man diese Regel um so viel sicherer anwenden, selbst wenn auch das Quadrat des oben genannten halben Abstandes nicht allein kleiner, sondern ein wenig größer seyn sollte, als das Product der Höhe von 10,33 Ellen, multiplicirt mit dem Kolbenzuge.

65) Diesen Grundsätzen entsprechend, lassen sich nun die Dimensionen der Pumpenstiefel und der Saugrohre sehr leicht bestimmen.

Pumpenstiefel. Die Länge des Pumpenstiefels über dem Herz der Pumpe hängt ab von dem Umstande, bis zu welcher Höhe das Wasser über dem Kolben gehoben werden soll, wenn die Pumpe eine Saugpumpe ist. Von einer Druckpumpe braucht der Pumpenstiefel sich nicht viel höher zu erstrecken, als bis gerade über den höchsten Kolbenstand. Dasselbe ist auch auf die Hebepumpe anwendbar.

Ist der Kolbenzug gegeben, und die Quantität Wasser bekannt, welche bei jedem Kolbenzuge gehoben werden soll, so ist nichts leichter, als den Durchschnitt des Pumpenstiefels zu berechnen. Wenn die Pumpen für häuslichen Gebrauch u. s. w. dienen sollen, ist eine solche mathematische Bestimmung unnöthig; sie wird jedoch erfordert bei der Aufrichtung großer Pumpen, welche zum anhaltenden Wasserheben bestimmt sind, oder welche einen bestimmten Theil einer Maschine ausmachen sollen. Solche große Pumpenstiefel werden aus Eisen oder Kupfer gegossen, und wenn ihre Dimension in der Weite zu unmäßig werden sollte, so verdoppelt man lieber den Pumpensatz, so daß die Verfertigung leichter und

sicherer, das Ganze stärker und die Theile weniger mannichfaltigen Reparaturen unterworfen werden. Ein Pumpenstiefel, dessen Durchmesser 1 niederländische Elle beträgt, gehört mit zur größten Art.

Saugpumpen. Wenn das Saugrohr einer Pumpe (sowohl einer Saugpumpe, als einer Saugdruckpumpe) kurz ist, z. B. nicht länger als 1 Elle, so ist kein Grund vorhanden, die Weite des Saugrohres geringer zu machen, als diejenige des Pumpenstiefels. Ist die Länge des Saugrohres groß, so darf man um so weniger die Durchmesser des Pumpenstiefels und des Saugrohres differiren lassen, weil eine Verengerung des Saugrohres immer eine Vermehrung des Widerstandes beim Heben des Kolbens verursacht; aber bei großen Längen des Saugrohres ist man wohl allerdings genöthigt, demselben eine geringere Weite als dem Pumpenstiefel zu geben, um versichert zu seyn, daß die Luft beim Anfange des Pumpens und so viel dieses sich während des Pumpens aus dem Wasser entwickeln sollte, bequem durch den Kolben ausgeführt werde, ferner auch, daß das Wasser schnell in der Saugröhre steige. Obschon man diese Verengerung um etwas größer nehmen kann, wenn die Länge der Saugröhren zunimmt, so thut man dennoch wohl, den Durchmesser einer Saugröhre nicht enger zu bestimmen, als im Durchschnitt auf $\frac{3}{4}$ des Pumpenstiefeldurchmessers; alsdann wird der Durchschnitt des Saugrohres reichlich dem halben Durchschnitte des Pumpenstiefels gleich.

Die Oeffnung des Ventiles im Pumpenherzen muß so groß seyn, als der Durchschnitt der Saugröhre; ist nun dieser Durchschnitt kleiner, als derjenige des Pumpenstiefels, so wird die Anbringung des genannten Ventiles im Pumpenstiefel dadurch sehr leicht. Jedoch denke man nicht, daß die Saug-

röhre bequemerer Anbringung des Pumpenherzens halber weniger weit genommen zu werden braucht, als der Pumpenstiefel; denn obschon dieser Grund gelten kann für kleine Pumpen, deren Röhren aus gewalztem Blei zusammengesetzt sind, so fällt er doch ganz weg für den Fall, daß die Röhren (wie es bei großen Pumpen der Fall ist) aus irgend einem Metall gegossen werden, weil man dann immer den Pumpenstiefel am Ventile im Pumpenherzen etwas erweitern kann, damit dieses Ventil sich ungehindert öffnen und schließen könne (siehe Fig. 61 Nr. 1.).

Die Saugröhre muß so viel wie möglich gerade aus dem Wasser in den Pumpenstiefel geleitet werden, weil unnöthige Krümmungen den Widerstand der Reibung des Wassers vermehren und das Aufsteigen des Wassers verhindern.

So viel dieses geschehen kann, mache man die Saugröhren kurz und den Zug des Kolbens (den man nicht verwechseln darf mit der Geschwindigkeit seiner Bewegung) groß; denn dadurch bewirkt man ein schleuniges Auspumpen der Luft, und ein leichtes Steigen des Wassers, auch sind die Röhren dann weniger Gebrechen unterworfen, und es wird dadurch nicht verhindert (mit Ausnahme der Saugdruckpumpe) das Wasser mit derselben Kraft, welche bei einer längern Saugröhre erfordert wird, beliebig auf jede Höhe zu heben.

Um mit Zuverlässigkeit die Länge der Saugröhren und den Zug des Kolbens zu bestimmen, so wende man hier die zweite Regel des Art. 44 an. Es sey der Zug des Kolbens = s, die Entfernung der Oberfläche des Wassers vom höchsten Kolbenstand = l, so muß nach der genannten Regel und wenn das Maß in Palmen ausgedrückt ist, wenigstens

$$\tfrac{1}{4} l^2 = 103{,}3 \cdot s$$

seyn, wenn man nämlich (um in keiner Hinsicht zu fehlen, und um einigermaßen mögliche kleine lecke Stellen oder Oeffnungen an den Verbindungspunkten der verschiedenen Röhren in Rechnung zu bringen) gar nicht Rücksicht darauf nimmt, daß die Saugröhre nicht so weit ist, als der Pumpenstiefel.

Setzt man in diesen Formeln den Abstand l erst auf 10 Palmen, dann auf 20 Palmen u. s. w., so ergibt sich daraus, daß

wenn d. Abstand l ist		der Kolbenzug wenigstens eine Extension haben müsse von s	
	= 10 Palmen		= 0,25 Palmen
	= 20 —		= 1,00 —
	= 30 —		= 2,10 —
	= 40 —		= 3,80 —
	= 50 —		= 6,00 —
	= 60 —		= 9,00 —

Aus diesen Angaben oder mittelst der obenstehenden Formel kann man jederzeit erfahren, ob der Kolbenzug die gehörige Länge im Verhältnisse zur Länge der Saugröhre habe, da derselbe zwar größer, jedoch nicht kleiner als die Resultate der Formel

$$s = \frac{l^2}{413}$$

seyn darf, wenn die Saugröhren und Pumpenstiefel an Weite von einander wenig differiren. Da ferner der Abstand l beinahe gleich ist der Länge der Saugröhre plus dem Kolbenzuge (weil dieser beinahe bis ans Herz der Kolbe reichen muß), so kann dieselbe Formel auch jederzeit benutzt werden, um die Länge der Saugröhre zu bestimmen, wenn der Zug des Kolbens gegeben ist.

Druck- und Heberöhren von Druck-, Saug- und Hebepumpen. Diese müssen so viel wie möglich vertikal und ohne alle Krümmungen geleitet werden, wenn das Wasser in die Höhe gefördert werden soll. Ihre Durchmesser müssen so

wenig wie möglich von denen der Pumpenstiefel differiren, damit der Widerstand nicht nutzlos vermehrt werde; jedoch nehme man hiervon aus die Fälle, in welchen eine Verengerung dieser Röhren nothwendig wird, um ein sehr geschwindes Ausströmen des Wassers zu bewirken, wo dann die Verengerung nur stattfindet, oder anfängt am Ende der Röhren, wo das Ausgießen erfolgen muß.

Verbindung der Saugröhren und Pumpenstiefel. Diese muß so sorgfältig wie möglich bewirkt werden, damit nicht die äußere Luft in die Röhren dringe, oder lecke Stellen entstehen. Die bleiernen Röhren gewöhnlicher Pumpen werden stark in einander getrieben. Die Röhren von Gußeisen und Kupfer werden mit Kragen oder breiten Rändern Fig. 62 versehen. Diese Ränder durchlocht man in Abständen von 1 bis 2 Palmen, und nachdem zwei Röhren an einander oder auf einander gesetzt sind, bewirkt man eine feste Verbindung durch Schraubenbolzen.

Die luftdichte oder wasserdichte Verschließung der Röhren erlangt man auf die Weise, daß man Ringe von dickem Rindsleder zwischen die umgeworfenen Ränder oder Flantschen der Röhren legt. Wenn die Pumpe häufig und auf eine lange Zeit außer Thätigkeit ist, vertrocknet und verhärtet das Leder, welches nicht unter dem Wasserspiegel liegt, und man wählt statt desselben dann lieber mit Firniß getränkte Pappe, oder Hanfgarnituren; während man auch, was bei großen Pumpenwerken der Fall ist, die Fugen und Verbindungsstellen der Röhren mit sogenanntem Eisenkitt luftdicht verstreichen kann.

Dieser Kitt besteht aus einem gut bereiteten Gemenge von 2 Gewichttheilen Salmiak, 1 Theil Schwefelblumen und 16 Theilen Feil- oder Bohr-

spähnen von Gußeisen. Dieses Gemenge wird alsdann noch mit 20 Theilen Eisenfeilspähnen in einem Mörser vermengt, alsdann mit so viel Wasser angerührt, als nöthig ist, um es in einen dicken Teig zu verwandeln, womit die Ränder und Verbindungsstellen der Röhren vor und nach der Verbindung bestrichen und verstrichen werden.

Die Verbindung, welche in der Durchschnittszeichnung Fig. 61 Nr. 2 angegeben ist, wird bewerkstelligt ohne Leder oder Kitt blos mit einem einfachen Pappenring, und ist vollkommen wasserdicht; sie erfordert jedoch eine sehr genaue Verfertigung der Schraubenmutter ab, welche gleich einer Büchse um die beiden Röhren läuft und dieselben ohne Schraubenbolzen zusammenhält; jedoch kann man diese Verbindungsart nur auf kleine Röhren anwenden. Uebrigens ist aus den Figg. 51 bis 61 zur Genüge ersichtlich, wo die Röhren verbunden werden. Gehen die Heberröhren hoch empor, so bestehen sie aus einer durchlaufenden Verbindung von Röhren, deren jede etwa die Länge von 2 bis $2\frac{1}{2}$ niederländische Ellen hat, oder auch eine geringere Länge, wenn die Umstände u. s. w. dieses erheischen.

Dicke der Röhren oder Pumpenstiefel.

Wenn eine Pumpe das Wasser bis zu einer beträchtlichen Höhe über die Oberfläche zu fördern hat, so müssen die Wandungen der Röhren einen Druck aushalten, welcher nach den Grundsätzen des Gleichgewichtes der Flüssigkeiten dieser Höhe direct proportional ist, und man muß dann die Ueberzeugung haben, daß die Dicke dieser Röhren oder Pumpenstiefel mehr als hinlänglich ist, um diesen Druck, ohne sich zu biegen oder zu platzen, aushalten zu können. Eine auf Erfahrung gegründete Berechnung macht sich in dem gedachten Falle manchmal

nothwendig, weshalb hier die Rechnungsarten, um die Dicke metallener Pumpenstiefel zu bestimmen, angegeben werden sollen.

Aus der Natur der Sache kann man entnehmen, daß, wenn man die Dicke einer Röhre d nennt; ihren Durchmesser D; den Druck auf einen bestimmten Theil, z. B. auf einen Quadratzoll Wandungsoberfläche der Röhre, G; und den Zusammenhang des Stoffes, aus welchem die Röhre besteht, k: daß dann die Dicke der Röhre abhängig seyn müsse von den 3 Größen D, G und k, und zwar in den nachfolgenden Verhältnissen.

1) Die Dicke d ist direct proportional dem Drucke G, welcher z. B. auf jeden Quadratzoll der Wandung ausgeübt wird; denn bleiben D und k immer dieselben, so wird, wenn der Druck G zunimmt oder abnimmt, die Dicke d auch um eben so viel zunehmen oder abnehmen und deshalb direct proportional seyn müssen dem drückenden Gewichte G.

2) Wenn der Stoff derselbe bleibt, so wie auch der Druck G auf jeden Quadratzoll, so muß die Dicke d auch um eben so viel zunehmen, und auch abnehmen können, wenn der Durchmesser D der Röhre größer oder kleiner wird; denn mit dem Durchmesser nimmt der Umfang und also auch die Zahl der Punkte, welche Druck erfahren, zu oder ab, und also ist d auch direct proportional dem Durchmesser D.

3) Aber wenn die Röhre aus einem mehr oder weniger zusammenhängenden Stoffe besteht, während der Durchmesser D und der Druck G unverändert bleiben, so kann die Dicke geringer oder sie muß sogar stärker genommen werden, wenn k mehr oder weniger beträgt, damit die Stärke der Röhre dieselbe bleibe; deshalb ist die Dicke umge-

kehrt proportional dem Zusammenhange des Stoffes der Röhre.

Alles zusammengenommen muß alsdann

$$d \text{ proportional seyn } \frac{D \cdot G}{k},$$

oder $d = \frac{D \cdot G}{k}$ multiplicirt mit einer gewissen unveränderlichen Zahl, welche Zahl $= 2$ ist; so daß die Formel, durch welche die Dicke einer Röhre bestimmt werden muß, ist:

$$d = \frac{2D \cdot G}{k} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

es muß nämlich D in niederländischen Zollen gegeben seyn, um auch d in demselben Maße zu finden.

Diese Formel wird direct auf folgende Weise bewiesen:

Wenn ACBD Fig. 63 der Durchschnitt einer vertikalen cylindrischen Röhre ist, und wenn diese Röhre mit Wasser gefüllt ist, so erfährt jeder Punkt vom Umfang eines Durchschnittes denselben Druck, weil jeder Punkt gleich weit von der Oberfläche des Wassers entfernt ist, und weil der Druck dieser Entfernung proportional ist. Diesen Druck erfährt jeder Punkt A in der Richtung AM des Halbmessers; aber weil das Wasser auch in jeder Richtung drückt, so kann man auch annehmen, daß der Umfang ADB in den parallelen Richtungen ab, cd u. s. w. gedrückt wird. Wir setzen voraus, daß ACBD eine Scheibe oder ein Theil der Röhre, oder ein Ring sey, der 1 Zoll Höhe hat; wenn nun der Druck auf jeden Quadratzoll G Pfunde beträgt, so muß untersucht werden, welche Kraft die sämmtlichen Drucke ausüben, um den Ring zu zerreißen, oder an einem Punkte zum Platzen zu bringen.

Entsteht ein Platzen oder ein Zerreißen, so beginnt dieses zuerst an einem einzigen Punkte, z. B. am Punkte A; der Ring wird dann gleichsam geöffnet wie ein stählerner Schlüsselring; die halben Ringe ACB und ADB werden von einander entfernt, und diese Entfernung erfolgt um den gegenüberliegenden Punkt B, wie um einen gemeinschaftlichen Drehungspunkt. Die mögliche Elasticität ganz bei Seite gesetzt, so muß der Ring dann auch am Punkte B zerreißen, sich biegen oder bersten können, nachdem dieses bereits bei A geschehen ist.

Man kann nun annehmen, daß ACB und ADB zwei in A vereinigte Stücke sind, und ohne diese Vereinigung um den Punkt B sich würden drehen können, und daß ADB gedrückt wird durch eine Menge Gewichte in den parallelen Richtungen ab, cd u. s. w., so daß diese Gewichte zusammengenommen dahin streben, die Verbindung bei A zu zerbrechen und ADB um B zu drehen.

Wenn AB eine Länge hat von D Zollen, und wenn jeder Quadratzoll einen Druck von G Pfunden erfährt, so ist es als ob man einen Hebel AB hätte, welcher über seine ganze Länge gleichförmig belastet ist, und also im Ganzen ein Gewicht von D • G Pfunden trägt.

Dieses Gewicht von DG Pfunden über die ganze Länge des Hebels vertheilt, leistet auch denselben Effect, den Hebel zu drehen, wenn es im Schwerpunkte M des Hebels wirkt; aber ein Gewicht von DG Pfunden, welches in M hängt, thut wieder eben so viel Wirkung, um den Hebel zu drehen, als das halbe Gewicht $\frac{1}{2}$DG, welches in A hängt, am Hebelarme AMB, der noch einmal so lang ist, als MB. Und hieraus muß dann folgen, daß der ganze Druck auf die Wand ADB in den

parallelen Richtungen a b, c d u. s. w. dem Drucke eines einzigen Gewichtes $\frac{1}{2}$ G D gleich ist, welches im Punkte A wirkt.

Die Wand A D B wird folglich bei A so zu sagen in der Richtung A K, welche eine Tangente des kreisförmigen Umfanges ist, gezogen, und diese Spannung muß durch den Zusammenhang des Stoffes ausgehalten werden können, wenn kein Bruch eintreten soll.

Wenn k das größte Gewicht ist, welches ein gewisser Stoff, der in der Richtung der Länge gezogen oder gespannt wird, auf jeden niederländischen Quadratzoll aushalten kann, ohne daß der Zusammenhang eine nachtheilige Veränderung erleidet, und wenn d die Dicke des Ringes in Zollen ist, so wird k d die äußerste Widerstand bietende Kraft des Ringes, oder der Wandung auf jedem Punkte seyn.

In der Praxis geht man niemals so weit, sondern man bestimmt, um hinsichtlich der Stärke in Sicherheit zu seyn, diese Kraft wenigstens auf $\frac{1}{4}$, weshalb $\frac{1}{4}$ k d die Widerstand bietende Kraft seyn wird, und da diese Kraft gleich seyn muß dem spannenden Gewicht oder dem Druck $\frac{1}{2}$ G D, welchen jeder Punkt der Röhre in der Richtung des Umfanges erfährt, so hat man

$$\frac{1}{4} kd = \frac{1}{2} GD;$$

woraus folgt

$$d = \frac{2\,GD}{k}.$$

Man könnte diese Formel auch noch beweisen, indem man den Druck G, welcher auf jeden Punkt in der Richtung des Halbmessers ausgeübt wird, noch in zwei andere Drucke zerlegt, welche in den Richtungen zweier Tangenten, die an den Enden eines Bogens von 1 Zoll Länge an einander grenzen,

wirken. Dieser Druck, welcher durch ähnliche Dreiecke, die man in der Figur bekommt, bestimmt ist, wird sich so wie oben als $= \frac{1}{2}$ G D u. s. w. ergeben.

Wenn gegossene Röhren groß und weit werden und man darüber in Ungewißheit ist, ob das Metall in allen Punkten der Dicke auch eine gleichförmige Stärke oder einen gleichen Zusammenhang besitze, so setzt man der Sicherheit halber den Druck G auf das Doppelte des vorhandenen Druckes, oder man verdoppelt die berechnete Dicke d.

Um die gefundene Formel für den Gebrauch ferner tauglich zu machen, müssen die besondern Werthe von k für die Metalle, aus welchen die Pumpenstiefel gemeiniglich bestehen, in dieselbe übergetragen werden; und diese Werthe sind (siehe Th. I. Abth. III. Art. 147) k = 1070 für Gußeisen; k = 900 für gewalztes Kupfer; k = 460 für gegossenes Messing (obwohl große Pumpenstiefel, welche aus Gründen aus Metall bestehen müssen, aus Kupfer gegossen werden); k = 100 für gegossenes Blei und für sogenanntes Rollenblei, welches gewalzt ist, oder für gezogene bleierne Röhren kann man k = 150 setzen. Für gegossene eiserne Röhren z. B. wird also die Formel

$$d = \frac{2 \cdot G \cdot D}{1070} = \frac{G \cdot D}{535} = 0{,}00187 \cdot G \cdot D \ldots (2)$$

und so findet man dieselbe auch für andere Metalle.

Eine Röhre, die einen Durchmesser von 75 niederländischen Zollen hat und 100 Ellen oder 1000 Palmen hoch Wasser trägt, wird unten am Boden auf jeden Quadratpalm durch ein Gewicht von 1000 Pfunden, und auf jeden Quadratzoll durch ein Ge-

wicht von 10 Pfunden gedrückt, weshalb $D = 75$ und G 10 und

$$d = 0{,}00187 \cdot 10 \cdot 75 = 1{,}4 \text{ Zoll}$$

seyn muß. Verdoppelt man nun diese Dicke aus den oben erwähnten Gründen und um einen bessern Guß des Metalles zu bekommen, so muß die Dicke der Röhre auf 2,8 Zoll gesetzt werden.

Aus diesem einzelnen Beispiele ergibt sich, daß eine Berechnung der Dicke von metallenen Röhren selten nothwendig wird, außer in dem Falle, wenn die Wasserhöhen und die Weite der Röhren groß sind, weil die Dicke, bis auf welche das Metall gewöhnlich verfertigt wird, oder, um von einigem Gebrauche zu seyn, verfertigt werden muß, auch häufig mehr als zulänglich ist, um den Druck des Wassers auszuhalten. Besser ist es dann, genau zu untersuchen, ob das Metall überall gleichförmig bearbeitet worden und ohne Mängel ist. Berechnet man jedoch diese Dicke durch die oben stehende Formel, so muß man das Maß des Druckes G gehörig bestimmen, ob dieser allein vom Wasser herrührt, oder ob die Kraft beim Pumpen diesen Druck vermehrt. Wenn z. B. das Wasser in einer Röhre durch den Pumpenschub einer Druckpumpe getrieben wird, so muß die Kraft auch häufig einen beträchtlichen Druck ausüben, um dem Wasser die gehörige Geschwindigkeit zu geben, seine Reibung an den Wänden der Röhre zu überwinden u. s. w. Dieser Druck nun wird auf das in Bewegung gesetzte Wasser und dann auch natürlich auf die Wandungen der Röhre ausgeübt.

Das in einer Röhre stehende Wasser drückt im Verhältnisse der Höhe; je näher also an der Oberfläche des Wassers, welches in einer Röhre steht, desto geringer der Druck gegen die Wandung! Eine Röhre braucht nun oben weniger dick zu seyn, als

unten; aber dieses ist in der Praxis selten von großem Nutzen oder Vortheil, wegen der geringen Dicke der Röhren, und dieses kann allein einigermaßen angewendet werden auf Röhren von Pumpensätzen in Bergwerken, welche das Wasser aus sehr großen Tiefen heben müssen.

§. VI.

Ueber die Form und über die Dimensionen der Kolben.

66) Es gibt noch viele Arten und Formen der Kolben, von denen hier allein die gebräuchlichsten beschrieben und beurtheilt werden sollen.

Die Kolben oder Pumpenschuhe kleiner Saugpumpen oder Druckpumpen für den häuslichen Gebrauch u. s. w. eingerichtet, sind gewöhnlich aus Birkenholz gedreht und ausgehöhlt; man nennt dieselben auch wohl Büchsen oder Eimerchen. In den Figg. 64 Nr. 1 und 2 ist ein solcher Pumpenschuh im Aufriß und Durchschnitt abgebildet. Er wird belegt mit einem Kragen A B von Rindsleder. Aus der Figur läßt sich die Form dieses Pumpenschuhes und die Art und Weise, wie der Kragen um denselben genagelt ist, deutlich erkennen, und man bemerkt ferner auch, daß es allein der oberste Theil des Kragens seyn müsse, welcher gegen die Wand des Pumpenstiefels geklemmt werden kann, weil der massive Theil des Pumpenschubes, um das Leder gehörig annageln zu können, die Gestalt eines umgekehrten Kegels hat.

Die Oeffnung a b d c, welche trichterartig unten sich ausmündet (um den bequemen Zufluß des Wassers zu befördern), ist rund und es darf soviel wie möglich der Durchschnitt dieser Oeffnung nicht viel mehr betragen, als die Hälfte des Pumpenstiefel-

durchschnittes, wegen der nöthigen Dicke, welche der Pumpenschuh haben muß.

Das kleine Ventil oder die Klappe, welche diese Oeffnung schließen und öffnen kann, ist eine runde lederne Scheibe e f Fig. 64 Nr. 3 und 4 mit einem Lappen C D, welcher mit zwei oder drei Schrauben oder Nägeln auf dem Kolben befestigt wird, so daß das Ventil die ganze Oeffnung des Kolbens bedeckt und um den festgenagelten Theil sich wie um ein Scharnier drehen kann. Das Ventil wird von oben und manchmal auch von unten mit einer hölzernen Scheibe oder mit einem Metallplättchen beschwert, um das Biegen des Leders zu verhindern, und um das leichte Zuschlagen des Ventiles zu befördern. Dieses Scheibchen oder Plättchen muß im Durchmesser etwas größer größer seyn als die Oeffnung des Pumpenschuhes oder Kolbens, wie auch die Figuren angeben; seine Schwere sey gerade ausreichend, um das Ventil leicht zuzuschlagen, denn eine größere Schwere setzt dem durchströmenden Wasser zuviel Widerstand entgegen und verhindert ein hinlängliches Aufgehen des Ventiles. Den Bügel E F mache man weit genug, um das Aufschlagen des Ventiles nicht zu hindern, zugleich aber auch so, daß das Ventil verhindert wird, eine vertikale Stellung einzunehmen, oder nach hinterwärts zu schlagen, da es alsdann nicht wieder zufallen kann, um die Oeffnung zu schließen.

Wenn der Kolben aus Kupfer gegossen ist und mit Leder gelidert werden soll, so wird die Art der Befestigung des Leders etwas anders. Fig. 65, welche eine Durchschnittszeichnung eines einfachen kleinen kupfernen Pumpenschuhes einer Saugpumpe gibt, macht diese Verbindung anschaulich; denn der Pumpenschuh besteht aus zwei Theilen, nämlich aus einem Obertheil A B, und aus einem Untertheil C D.

Dieser untere Theil ist nur ein Ring, welcher um den Pumpenschuh herum geschraubt wird und auf diese Weise das Leder festhält oder klemmt. Man kann diesen Ring auch mit kleinen Schraubenbolzen oder Schraubennägeln am obern Theile befestigen, so wie dieses in Fig. 66 angegeben ist. Diese Figur nämlich stellt die gehörige Form eines kleinen kupfernen Pumpenschuhes mit seinem Bügel dar, so wie derselbe seyn muß, wenn die Liderung aus 6 oder mehr um den Pumpenschuh gelegten rindsledernen Ringen bestehen soll, welche hernach so stark als nöthig, durch einen losen Ring CD befestigt werden, welcher die Basis des Kolbens bildet und mit Schrauben an demselben geschlossen ist. Die Formen dieser drei Stücke können aus den Standrissen und aus den Durchschnittszeichnungen deutlicher begriffen werden, als aus einer ausführlichern Beschreibung.

Es gibt noch andere Formen von Kolben und andere Arten, dieselben zu lidern, jedoch diese Erklärung ist ausreichend für den Zweck dieses Werkes.

Ein Kolben oder Pumpenschuh muß folgenden Anforderungen entsprechen:

1) Er muß leicht seyn und eine sehr große Oeffnung dem durchströmenden Wasser darbieten.

2) Er muß dauerhaft, wenigen Gebrechen und wenigen Reparaturen unterworfen seyn.

3) Er muß so gelidert seyn, daß er mit der wenigsten Reibung ganz genau in den Pumpenstiefel paßt.

Nur die erste Bedingung erfüllen die hölzernen mit Leder überzogenen Pumpenschuhe, selten aber die beiden andern, denn sie werden bald verdorben und vertragen eben so wenig als ihr lederner Ueberzug abwechselnde Nässe und Trockenheit. Darum bedient man sich in Pumpen von einiger Wichtig-

keit sehr selten hölzerner Pumpenschuhe, die mit Leder überzogen sind, sondern man wendet statt ihrer metallene Kolben an. Diese werden aus Kupfer oder für sehr große Pumpenwerke aus Eisen gegossen, gehörig auf der Drehbank bearbeitet und mit Werg, gezupften hanfenen Tauen (oder auch mit Garnituren von grob gesponnener Baumwolle), die man hernach mit Fett beschmiert, stark umwickelt (siehe Fig. 67 und 68); dadurch erlangt man einen genauern Schluß des Kolbens im Pumpenstiefel, als bei Anwendung von Leder; die Bewegung ist zugleich sanfter und endlich ist diese Liderungsart viel einfacher, als diejenige mit Hilfe des Leders.

Die Einrichtung und Form des Kolbenventiles, so wie dieselbe in Fig. 64 beschrieben worden, ist die einfachste und gewährt vor allen andern Arten von Ventilen den Vortheil, beinahe die größtmögliche Oeffnung dem durchströmenden Wasser zu gewähren; sie ist auch dauerhaft, erfordert wenige Reparaturen und läßt sich, wenn es nöthig ist, sehr leicht repariren. Aber für Kolben großer Pumpen ist dieses Ventil aus mehr als einem Grunde unanwendbar.

Fig. 68 gibt im Durchschnitt die Einrichtung eines großen eisernen oder kupfernen Kolbens einer Saugpumpe. AB ist der massive Theil des Kolbenumfanges; CD ist der Ring, welcher unten an den Kolben geschraubt werden kann, um die Hanfgarnituren EF zusammenzudrücken. Für diesen Zweck ist der Kolben (wie Fig. 68 Nr. 2 im horizontalen Durchschnitte, jedoch in kleinerem Maßstabe als Nr. 1 zeigt) in Abständen von 1 oder mehr Palmen am untern innern Umfange, mit vortretenden halbrunden Ecken a versehen, in welche Schraubenmuttern geschnitten sind; der Ring CD enthält eben so viele ähnliche Ecken b Fig. 68 Nr. 1 und wird auf diese

Weise mit kurzen Schraubenbolzen, welche in die genannten Muttern gesteckt werden, an den massiven Theil des Kolbens geschraubt. Diese Einrichtung gewährt hauptsächlich den Nutzen, daß man die Oeffnung des Kolbens so wenig wie möglich zu verengern braucht, und den Kolben zu gleicher Zeit leicht machen kann; denn, wenn der Umfang des Kolbens durchgängig um soviel dicker gegossen wird, als nöthig ist, um die Schraubenmuttern am Umfang gehörig auszuschneiden, so muß die Ventilöffnung natürlich enger und der Kolben auch schwerer werden, als dieses bei der angegebenen Einrichtung der Fall ist. Die Schrauben a b können von innen angebracht werden, damit man, wenn die Liderungsgarnituren zu sehr abgenutzt worden sind, im Stande ist, die Schrauben anzuziehen, indem man blos die Ventile öffnet, ohne den Kolben aus dem Pumpenstiefel zu nehmen. Durch die Mitte des Kolbens läuft eine Scheidewand G G, in dessen Mitte die Kolbenstange unmittelbar geschraubt wird, so daß man hierbei den unbequemen, hinderlichen und den Kolben erschwerenden Bügel entbehren kann, der am kleinen Kolben mit nur einem Ventile angebracht werden muß (siehe Fig. 66). Der Kolben hat zwei halbrunde Klappen oder Ventile H H, die sich um zwei kurze Zapfen drehen, welche in kleinen Zapfenlagern a, b Fig. 68 Nr. 3 eingeschlossen sind.

In Fig. 68 Nr. 4 sieht man die Ventilklappen mit ihren Zapfen, die in den Lagern c d eingeschlossen sind. Man kann jedoch die Ventile sich auch um gewöhnliche Scharniere e f Fig. 68 Nr. 5 sich drehen lassen, aber wenn sich die Dornen dieser Scharniere abnutzen, so gibt dieses mehr Gelegenheit zum Leckwerden, als sonst entstehen kann, wenn sich die Ventile um Zapfen drehen.

Die Ventile sind hinten mit Ansätzen p und q Fig. 68 Nr. 1 versehen, die gegen die Kolbenstange stoßen und verhindern, daß die Ventile ganz aufgehen oder nach hinterwärts schlagen.

Die Ventile eines großen Pumpenkolbens können nicht wohl einfacher seyn, als die beschriebenen (denn die sogenannten Schwengelventile, welche man für einfacher halten könnte, besitzen Mängel, welche man bei den beschriebenen Fallklappen nicht, oder doch in geringerm Maße antrifft); auch wendet man in den größten Pumpenwerken selten mehr als zwei dergleichen Klappen an. Der Nachtheil, den sie haben, besteht in dem baldigen Abnutzen der Zapfen durch das vielfache und starke Auf- und Zuschlagen der Klappen, oder daß sich Sand u. s. w. zwischen die Scharniere setzt, welchem Uebelstande alle Scharnierklappen unterliegen. Den ersten Nachtheil vermindert man dadurch, daß man das Ventil so leicht wie möglich macht, daß man dasselbe sich nicht viel über die Hälfte öffnen läßt, und daß man dasselbe unten mit einem Stück Leder belegt; denn dann werden die Stöße durch das Auf- und Zuschlagen der Klappen gemildert, so daß auch durch eine geringere Abnutzung der Zapfen das Leckwerden länger verhütet wird; da sich aber die Klappen weniger weit öffnen, so wird dadurch auch die Wasseröffnung verkleinert und beim Niedergange des Kolbens eine Vermehrung des Widerstandes erzeugt.

Wenn die Dicke der Kolbenstange nach der Last, welche sie tragen muß, oder nach dem Drucke der Kraft, den sie ausstehen muß, berechnet ist, so sind auch die Dicke der Scheidewand G G, und die Dimension der Breite der Klappen bekannt; die Dicke des Kolbenumfanges sey nach Maßgabe des Stoffes, woraus er besteht, so gering wie möglich. Seine

Dicke m n (oder vielmehr die Dicke, bis auf welche er gelidert werden soll) nehme man mittelmäßig, damit die Liderung die hinlängliche Extension habe und der Kolben nicht wanken könne gegen die Wand des Pumpenstiefels, welche dadurch eine sehr nachtheilige Reibung erfahren könnte. Wenn man diese Dicke auf $\frac{1}{7}$ des Durchmessers E F setzt, so ist dieses eine Grenze, die man selten überschreiten kann, denn häufig kann man nicht weiter gehen, als bis zu $\frac{1}{6}$ und die Liderungen kleiner Pumpenkolben können nicht gut eine geringere Dicke, als $\frac{1}{4}$ des Durchmessers bekommen. Man kann auch in jedem Falle diese Dicke durch Berechnungen auf die Weise bestimmen, wie man diejenige der Dampfkolben feststellen kann, was in der Abhandlung über die Dampfmaschinen entwickelt werden soll.

67) Die einfachste Construction eines Kolbens einer Druckpumpe (welche Pumpen selten von sehr großen Dimensionen angewendet werden) ist in Fig. 69 sowohl im Grundriß, als im Durchschnitt abgebildet. Sie besteht aus zwei kupfernen Scheiben a b und c d, der Leichtigkeit halber hohl oder schaalenförmig gegossen. Diese Scheiben werden mit ähnlichen ledernen Schaalen e f g h und i f g k umgeben und alsdann durch die Stange des Kolbens selbst gehörig an einander geschraubt. Auf diese Weise können die ledernen Schaalen stets stärker geklemmt werden.

Aber diese ledernen Schaalen können auf diese Weise nicht nach Belieben gegen die Wand des Pumpenstiefels gepreßt werden, so daß immer (und auch weil eine lederne Liderung auf die Dauer weniger gut ist) den mit Werg gelíderten Kolben der Vorzug gegeben werden muß. Von einem solchen Kolben ist in Fig. 70 eine Abbildung gegeben und die Einrichtung desselben wird nach Betrachtung der

Figur keine weitere Erklärung bedürfen. Soll der Kolben einer Druckpumpe gut wirken, so muß er mit genauem Schluß im Pumpenstiefel sich bewegen und zwar genauer, als es für den Kolben einer Saugpumpe erforderlich ist. Der Pumpenstiefel selbst muß dann sehr genau ausgebohrt werden. Um den guten Effect nicht hiervon abhängig zu machen, bedient man sich in Fällen, wo es auf die größte Genauigkeit ankommt (wie dieses der Fall ist mit dem Preßkolben einer hydraulischen Presse) u. s. w. mit großem Nutzen des sogenannten metallenen Taucherkolbens (dompelaars-zuiger) ohne Liderung, der Fig. 71 im Durchschnitte dargestellt ist.

ABCD ist ein gegossener Pumpenstiefel, der nicht ausgebohrt ist und einen etwas größern Durchmesser als der Kolben hat. Der Kolben E ist ein hohler Metallcylinder, welcher seiner ganzen Länge nach sehr genau abgedreht ist.

FF ist ein hohler Raum mit Werg ausgefüllt. Dieses Werg, welches die Stelle einer Kolbenliderung ersetzen muß, wird durch Anschrauben des Deckels GH stark comprimirt, so daß der Kolben dadurch auch stark geklemmt wird. Die dreieckige untere Kante des Deckelstückes und diejenige des unteren Theiles des hohlen Raumes machen das Comprimiren der Liderung leicht. Der Deckel schließt so gut wie möglich um den Kolben herum, ohne diesen jedoch zu klemmen. Der Deckel ist auch beständig mit Oel gefüllt, damit die Bewegung des Kolbens leicht und ohne große Abnutzung von Statten gehe, und damit das Werg auch stets in Oelung erhalten werde. Damit man die Luft, welche unter dem Kolben aus dem einströmenden Wasser beständig entwickelt wird, nach Belieben austreiben

könne, wenn der Kolben niedergeht, communicirt das Innere des Pumpenstiefels mit der äußern Luft durch ein kleines Röhrchen a b c, welches bei c unter dem hohlen Raume sich ausmündet und von oben durch einen Schraubenstöpsel geöffnet und geschlossen werden kann; einfacher wird es jedoch seyn, diese Oeffnung an der Seite bei m durch den Pumpenstiefel selbst gehen zu lassen, wenn keine sonstigen Behinderungen dieses verbieten. Da der luftdichte Schluß des Kolbens durch das Werg, welches mit einer geringen Mühe comprimirt wird, sehr vollkommen bewerkstelligt werden kann, so kann auch die beschriebene Einrichtung eines Druckkolbens, wenn derselbe genau verfertigt ist, als höchst vollkommen betrachtet werden.

§. VII.

Formen von Ventilen oder Klappen in den Pumpen u. s. w.

68) Die einfachste Klappe, welche man gewöhnlich im Pumpenherzen anbringt, ist derjenigen ähnlich, die man auch in den Pumpenschuhen oder Kolben anwendet. Sie besteht aus einem runden ledernen Reif a b c (siehe den Durchschnitt Fig. 72), welcher die Oeffnung des Saugrohres B schließt und mit einer hölzernen oder metallenen kleinen Platte d e verbunden ist, um den genauen Schluß zu befördern, das Zufallen leicht zu machen und das Biegen zu verhindern. Damit diese Art von Ventilen oder Klappen sich ganz öffnen können, muß der Pumpenstiefel A wenigstens am Pumpenherzen weiter seyn, als die Saugröhre. Die Art und Weise, wie dieses Ventil in der Pumpe angebracht wird, ist aus der Figur zu entnehmen, denn

der Schwanz des ledernen Reifens wird bei c zwischen die Ränder des Pumpenstiefels und des Saugrohres gelegt und durch Zusammenschrauben festgeklemmt. Zwischen die übrig bleibenden Theile des Umfanges der Ränder wird, wie bereits früher erwähnt worden, ebenfalls ein lederner Ring f gelegt.

Die einfachsten Klappen in den Steigröhren mittelmäßiger Druckpumpen haben dieselbe Gestalt und dieselbe Zusammensetzung, siehe Fig. 73 Nr. 1; damit sie aber die Oeffnungen dieser Röhren verschließen können, ist es nöthig, daß auch zwischen die Ränder des Pumpenstiefels und des Steigrohres noch ein metallener Ring oder eine Scheidewand a b ... c d gelegt werde, welche eine kleinere Oeffnung b c besitzt, als die Röhren. Die Klappe legt sich alsdann auf den nach Innen vortretenden Umfang dieser Oeffnung. Man kann jedoch eine solche besondere Scheidewand vermeiden, wenn man den Rand a d' Fig. 73 Nr. 2 auch ein wenig nach Innen vortreten läßt, so wie es bei b' und c' angegeben ist.

Die Erfordernisse einer Klappe in einer Pumpe müssen in Leichtigkeit und in Festigkeit bestehen, wobei sie zu gleicher Zeit soviel wie möglich sich ganz öffnen können muß, um dem einströmenden Wasser die größtmögliche Oeffnung darzubieten.

Die Ventile oder Klappen müssen leicht seyn, um erst durch die Luft, hernach durchs Wasser bequem geöffnet werden zu können.

Sie müssen fest und dauerhaft seyn, um die Röhren dicht verschließen zu können und das Eindringen fester Körper, wie z. B. Sand u. s. w. zu verhindern und keine mannichfaltigen Reparaturen zu bedürfen.

26*

Die oben beschriebenen ledernen **Fallklappen** können dem ersten Erforderniß entsprechen; dem letzten entsprechen sie besser als irgend eine andere Art von Klappe; aber sie können nur unter sehr kleinen Dimensionen, oder in gewöhnlichen Fällen, in welchen es auf keine große Genauigkeit ankommt, mit einigem Erfolg angewendet werden, um diesem zweiten Erforderniß zu entsprechen. In Pumpenwerken von einiger Bedeutung, mögen sie nun von großen oder von kleinen Dimensionen seyn, ist man genöthigt, metallene Fallklappen statt der ledernen anzuwenden, so daß sie sich in einem Scharniergelenke drehen. Die Form dieser Klappen ist in Fig. 74 dargestellt, während in Fig. 75 angegeben ist, wie dergleichen Ventile in Steigröhren am vortheilhaftesten gerichtet und angebracht werden müssen. Sie sind nämlich unter einem Winkel von etwa 45° angebracht, um bequemer zufallen zu können; aber in Folge dieser schrägen Lage wird ihr Umfang nicht rund, sondern ellipsenförmig; sie können wegen der Erweiterung A B' C D sich gänzlich aufschlagen, wie durch den punktirten Umfang angegeben ist; eine angebrachte Oeffnung, welche durch einen besondern Deckel E F verschlossen wird, macht es leicht, ins Innere der Röhre zur Klappe zu kommen, wenn man ihren Zustand untersuchen will, oder wenn sie einiger Reparatur bedarf u. s. w. Die Bemerkungen, welche in Art. 66 über die metallenen Fallklappen gemacht worden sind, leiden auch hier Anwendung.

Außer der Fallklappe gibt es noch drei andere hauptsächliche Arten einfacher Ventile oder Klappen, welche man auch in den Kolben oder Pumpenschuhen der Saugpumpen anbringen kann, nämlich das **Schaalenventil**, das **Kegelventil** und das

Kugelventil. Sie müssen aus Metall gegossen, auf der Drehbank abgedreht und mit Schmirgel in die Oeffnung eingeschliffen werden, welche sie verschließen sollen. In dieser Hinsicht sind sie bei weitem nicht so einfach, als die Fallklappen, außer daß man letztere nicht beliebig in allen Dimensionen anwenden kann.

Das Schaalenventil Fig. 76 hat die Gestalt eines Napfes oder einer Schaale A B. Die Außenseite ist konisch abgedreht, damit das Ventil das Herz verschließe, d. h. eine eben so große konische Oeffnung in der Scheidewand C D, welche zwischen dem Pumpenstiefel und die Saugröhre geschraubt ist. Das Ventil hat einen Schweif oder einen Stiel c d, welcher durch eine runde Oeffnnng eines kleinen Querstäbchens a b, unter der Mitte der Oeffnung gelegen, läuft und dazu dient, durch den Knopf d den Spielraum des Ventiles zu beschränken, wenn es vom Wasser emporgetrieben wird.

Das Kegelventil Fig. 77 hat beinahe dieselbe Gestalt wie das Schaalenventil, doch ist es oben nicht offen oder hohl, und wird auch nicht so hoch gehoben wie das Schaalenventil.

Das Kugelventil Fig. 78 besteht aus einer Kugel A, welche die Wasseröffnung schließt, nirgends befestigt ist und deshalb ganz lose auf der genannten Oeffnung ruht. Diese Kugel wird durch das einströmende Wasser nach oben getrieben, und manchmal durch zwei oder vier kleine Ränder a b und c d (welche in der Scheidewand C D stehen) verhindert, beträchtlich nach der Seite auszuweichen; bei dem Niedergange des Kolbens fällt die Kugel durch ihre Schwere und schließt die Wasseröffnung oder das Herz der Pumpe.

Von den eben beschriebenen drei Klappen oder Ventilen ist das Kugelventil das dauerhafteste, aber es ist schwierig, demselben die zweckmäßige Schwere zu geben, so daß es nicht zu hoch emporgetrieben wird (ohne für diesen Zweck ein Hinderniß in der Pumpe anzubringen), und auch durch seine große Schwere nicht zu schwierig zu öffnen sey. Es hindert den freien Durchfluß des Wassers auch mehr als das Schaalen- und als das Kegelventil. Von diesem letzten gewährt das Schaalenventil die größte Durchströmungsöffnung, so wie es auch weniger schwer ist. Die Höhe, bis zu welcher ein Schaalenventil emporgetrieben werden kann, muß so groß seyn, daß das Wasser wenigstens eben so frei zwischen seiner Basis und der Mittelwand durchfließen kann, als zwischen seinem Umfang und der Wand des Pumpenstiefels. Ohne nun den Pumpenstiefel am Herzen zu erweitern, muß die Oeffnung dieses Ventiles gleich sein der halben Oberfläche des Pumpenstiefeldurchschnittes, und das Ventil muß wenigstens um den Betrag von $\frac{1}{4}$ Durchmesser emporgehoben werden; alsdann gewährt es die größtmögliche Oeffnung.

Das Kegelventil wird nicht höher als bis auf seine halbe Weite gehoben. Die Extension der Oberfläche, auf welcher Kegelventile und Schaalenventile mit der innern Fläche der Scheidewand in Berührung stehen, wenn sie die Oeffnung schließen, darf besonders nicht so groß seyn, weil das Ankleben dieser Oberflächen dann zu groß und das Emporheben zu schwierig werden würde; auch muß die schräge Gestalt der konischen Oberfläche dieser Ventile in der Richtung so wenig wie möglich von 45° abweichen, wenn eine kleinste Quantität der Klemmung dieser Ventile in ihren Oeffnungen stattfinden

sollten; und trotz dieser Einrichtungen kann das Ankleben oder Schließen dennoch beträchtlich seyn und großen Widerstand darbieten. Obschon nun z. B. die Schaalenventile hinsichtlich der Stärke sehr gut entsprechen, auch dauerhaft sind und genau schließen, so sind dennoch, sowohl ihr starkes Ankleben an der Wand der Wasseröffnung, als auch die Behinderung der Oeffnung, welche sie für den Durchfluß des Wassers herbeiführen, hinlängliche Gründe, weshalb sie hauptsächlich in großen Pumpenstiefeln nicht angewendet werden dürfen.

Um die Schwierigkeit der Verbindungen der Ventile oder der Herzen in den Pumpen zwischen den Rändern der Röhren zu beseitigen, und um bei einer nöthigen Reparatur derselben das Auseinandernehmen der Röhren zu vermeiden, setzt man dieses Herz ganz lose oder abgesondert in die Röhren. Es bekommt alsdann die Gestalt eines Pumpenschuhes A B C D Fig. 78*, indem es die äußere Oberfläche eines abgestumpften Kegels hat, in welche einige Rinnen gedreht sind, damit das Werg besser hafte, mit welchem man es umwickelt. Ein schwacher Bügel E erleichtert das Einsetzen und Herausnehmen dieses Herzens aus den Röhren, während er zu gleicher Zeit Gelegenheit zur Anbringung eines Leitstiftes gibt, an welchem sich das Ventil, wenn es ein Kegelventil ist, emporbewegt.

Damit diese Herzen mit gutem Schluß in den Röhren sitzen, beschmiert man sie äußerlich mit geschmolzenem Fett. Wenn dieses Fett geronnen ist, so können die Herzen in den Röhren niedergelassen werden, und werden alsdann wegen der mit Fett durchdrungenen Wergliderung nicht allein genau schließen, sondern auch fest in den Röhren sitzen, so daß kein Wasser an den Seiten durchdringen kann.

Sie werden indessen nicht so fest in den Röhren sitzen, daß es vieler Mühe bedürfte, um sie zu heben.

Bei Anwendung der beschriebenen losen Herzen in den Pumpen wird nicht erfordert, daß die Pumpenstiefel und die Saugröhren besondere Röhren sind; dieselbe Röhre kann zu gleicher Zeit Pumpenstiefel und Saugröhre seyn, sobald sie nur unten nicht so weit ist als oben, wenn die Saugröhre enger seyn muß, als der Pumpenstiefel. Die Verengerung beginnt alsdann da, wo das Herz beginnen soll, und sie muß an dieser Stelle in demselben Maß abnehmen, in welchem der Durchmesser des Herzens von A B bis C D abgenommen hat, damit dieses Herz gehörig im trichterförmigen Theil der Röhre gut schließend festsitze.

Wenn der Pumpenstiefel und die Saugröhre besondere Röhren ausmachen, so muß jedoch der Pumpenstiefel unten auf dieselbe Weise und aus demselben Grunde verengert werden, man müßte denn das Herz in eine kurze cylindrische Röhre befestigen, welche im nicht verengerten Pumpenstiefel bis an die Saugröhre niedergelassen und hinlänglich gegen die Wandung gepreßt wird.

69) In großen Pumpen bedarf man vorzüglich doppelter Fallklappen, wie bereits oben bemerkt worden ist. Diese haben keine andere Form, sind aber beinahe so eingerichtet, wie die doppelten Fallklappen der Pumpenkolben; sie drehen sich um zwei Scharniere, welche oben auf einer Scheidewand A Fig. 79 Nr. 1 liegen und werden durch zwei Ansätze a, b verhindert, sich zu weit zu öffnen, und dieses um so mehr, wenn die Pumpe größer ist, wo sie dann nicht viel weiter, als zur Hälfte sich öffnen können.

Je weniger breit die Scheidewand A ist, desto größer wird die Oeffnung für den Durchfluß des Wassers, weshalb man die Scheidewand ganz beseitigen kann, sobald man die beiden Ventile sich um dasselbe Scharnier und um denselben Dorn drehen läßt, siehe Fig. 79 Nr. 2 und 3; aber bei dieser Einrichtung wird eher eine lecke Beschaffenheit eintreten, als wenn sich jedes Ventil besonders um kurze Zapfen dreht, welche über einer Scheidewand A Nr. 1 in kleinen Lagern ruhen. Wenn das Herz lose oder ganz für sich in die Pumpe niedergelassen wird und deshalb mit einem Bügel CDE Fig. 79 Nr. 2 und 4 versehen seyn muß, so sind auch keine Ansätze a, b Fig. 79 Nr. 1 erforderlich.

Die vortheilhafteste Einrichtung der doppelten Klappen in Pumpen, wobei sie am leichtesten geöffnet werden und beinahe eine eben so große Oeffnung für den Durchfluß des Wassers geben, als die einfache Fallklappe, ist Fig. 80 im Durchschnitte dargestellt. Die Klappen AB und CD haben eine schräge Richtung unter einem Winkel von etwa 30°; sie drehen sich besonders um ein Scharnier A und C an der Wand des Pumpenstiefels und schlagen sich deshalb nach dieser Wand hin bis an die Stützen a und b auf; da nun der Pumpenstiefel am Herzen erweitert ist, so werden die Klappen, ohne ganz aufrecht zu stehen, dem Wasser vollkommenen Durchzug gewähren, welcher Stand der Klappen durch punktirte Linien angegeben ist. Wenn die Klappen geschlossen sind, so liegen sie auf einer Leiste E, welche, wie in Fig. 79 Nr. 4 das Gehänge des Pumpenherzens bildet, und es muß diese Leiste eben und glatt gearbeitet seyn.

Diese Art von Ventilen, welche auch in den Pumpenkolben angebracht werden kann, kann un-

ter den metallenen doppelten Fallklappen für die am besten eingerichtete gelten, aber die Verfertigung derselben erfordert viel Sorgfalt und ist in gewisser Hinsicht schwierig, und zwar hauptsächlich aus dem Grunde, weil sie keine halbrunde, sondern eine halbelliptische, oder ovale Gestalt haben müssen, indem sie sich in einer cylindrischen Röhre in einer schrägen Richtung e f oder g h schließen müssen, in welcher Richtung ein Cylinder eine Ellipse zum Durchschnitt haben muß.

§. VIII.
Bemerkungen über die verschiedene Bewegungsweise der Kolbenstange.

70) In der 2. Abtheilung des 2. Theiles sind die meisten tauglichen Mittel angegeben, wie man die auf- und niedergehende Bewegung eines Körpers z. B. diejenige eines Pumpenschuhes oder Pumpenkolbens aus jeder andern Art der Bewegung, welche die Bewegung haben mag, ableiten kann. Die Pumpenkolben müssen, um recht leicht gehoben werden zu können und ganz besonders, um keine starke Reibung und Beschädigung der Wandung des Pumpenstiefels ꝛc. zu veranlassen, vollkommen vertikal bewegt werden. Die mechanischen Einrichtungen, welche erforderlich sind, um diese vertikale Bewegung so genau wie möglich zu erlangen, sind mit in dem vorhergehenden Theile angegeben worden. Es werden deshalb hier nur einige Bemerkungen über besondere Fälle der Bewegung der Pumpenkolben gemacht.

In Pumpen von keinem großen Belang, wie z. B. in den gewöhnlichen Hauspumpen, deren Pumpenschuhe bewegt werden durch die abwechselnde

Drehung eines gebogenen Hebels, an dessen einem Ende die Kolbenstangen befestigt sind, — in solchen Pumpen, so wie auch in allen andern, welche einen sehr kurzen Kolbenzug haben, braucht man keine höchst genaue vertikale Bewegung der Pumpenstangen, noch auch besonders zusammengesetzte Mechanismen, um diesen vertikalen Hub und Schub zu bekommen; denn wenn man die Kolbenstange A B C Fig. 81 mit einem Gelenk oder einem Gewerbe B versieht, so wird die geringe Abweichung von der vertikalen Richtung auf die gute Wirkung und auf die Dauer der Maschine nur einen geringen nachtheiligen Einfluß haben können. Damit die Abweichung indessen so wenig wie möglich betrage, sey man darauf bedacht, ein solches Gewerbe B in der Nähe des Kolbens anzubringen.

Wird bei Pumpen von größerem Belang die vertikale Bewegung des Kolbens ein hauptsächliches Erforderniß, so braucht man dafür keine besondern Mittel anzuwenden, wenn der Befestigungspunkt C der Stange A B C in großer Entfernung über dem Kolben liegt, weil dann die Richtung der Stange B C in Bezug auf A B nicht sehr schräg seyn kann, und aus diesem Grunde auch keine merkliche Abweichung der Kolbenstange A B stattfindet.

Eine solche Abweichung wird in sehr vielen Fällen auf eine einfache Weise verhütet, wenn man die Kolbenstange Fig. 82 Nr. 1 und 2, ehe man dieselbe durch ein Gewerbe G mit der Zugstange verbindet, durch eine Leitöffnung A, oder durch eine Büchse B, die oben an der Pumpe wie ein Deckel befestigt ist, gehen läßt; denn findet dann noch eine Abweichung statt, so verursacht diese nur eine Reibung der Kolbenstange an der Büchse B oder an der Leitöffnung A, und keineswegs eine Verrückung

oder eine nachtheilige Seitenbewegung des Kolbens, der nun senkrecht in der Pumpe auf- und niederbewegt werden kann.

In kleinen, oder auch in mittelmäßigen Pumpenwerken kann man die vertikale Bewegung des Kolbens mit seiner Stange ziemlich genau ohne Gewerbe erlangen, indem man diese Stange nicht fest mit dem Arm A B Fig. 83 des Pumpenschwengels verbindet, sondern sie mittelst eines Zapfens in den beiden Augen einer Gabel a b spielen läßt, welche das Ende des Hebelarmes bildet, oder mit diesem Ende verbunden wird. Denn durch diesen Spielraum der Augen der Gabel wird die Stange A C niemals seitswärts, sondern immer in der Richtung ihrer Länge gezogen, oder niedergedrückt werden müssen. Die innern Umfänge der Augen der Gabel müssen, diesem vertikalen Hub entsprechend, eine krummlinige Gestalt bekommen, ähnlich derjenigen der Wellfüße oder Hebedaumen, mit welchen z. B. in den Lohmühlen die Schießer gehoben werden.

Nach den in der Abth. III. des Theiles I. Art. 161 und folgende entwickelten Grundsätzen wird es nicht schwer fallen, die Dicke der Pumpenstangen zu berechnen, wenn deren Länge gegeben ist. Auch kann man sich leicht einen Begriff machen von der Art und Weise, wie man eiserne oder verstählte Pumpenstangen und hölzerne Kolberstöcke mit einander zu verbinden, oder an einander zu koppeln pflegt (eben so wie Axen oder Wellen, die man verlängern muß, siehe Theil II. Abth. II. Kap. I. §. IV.), nämlich mit Hülsen und Büchsen, im Fall, daß die Pumpenkolben (wie es z. B. in Bergwerken der Fall ist) sehr tief liegen, und deshalb die Kolbenstangen aus verschiedenen Stücken zusammengesetzt

werden müssen, deren Verbindung oder Koppelung häufig viel Ueberlegung erfordert, um ohne übermäßige Erschwerung der Stücke dem Ganzen die erforderliche Stärke zu geben. —

Beim Bewegen einer einzelnen Pumpe kann man die Schwere des Kolbens und der Stangen im Nothfall äquilibriren, indem man Gegengewichte an die andere Seite des Drehungspunktes des Pumpenschwengels hängt. Man kann sogar, indem man ein solches Gegengewicht erschwert, den Widerstand beim Hub und Schub des Kolbens gleichmäßiger machen. Dieses kann man z. B. mit den Schwengeln Fig. 83 der gewöhnlichen Wasserpumpen erreichen (obschon die Knöpfe dieser Schwengel mehr zu Handgriffen dienen, als zu Gegengewichten); denn während des freien Niederganges des Kolbens müssen sie durch die Kraft gehoben werden, und sie bilden dann, da die Kolben der genannten Pumpen meistens durch ihr eignes Gewicht frei niedersteigen, die Last; soll ferner der Kolben gehoben werden, so muß der Schwengel niedergedrückt werden und durch einen Theil seines Gewichtes wird alsdann die Kraft beim Heben des Wassers unterstützt.

Es läßt sich sehr leicht ausmitteln, wie das Gewicht eines Schwengels regulirt werden müsse, um den Widerstand beim Niedergange des Kolbens soviel wie möglich leicht zu machen dem Widerstande, welcher durch die bewegende Kraft beim Heben des Kolbens überwunden werden muß. In der Praxis schlägt man für diesen Zweck einen hinlänglich genauen Weg ein, wenn man den Zug des Kolbens, die Längen der Hebelarme von Last und Kraft nebst den vorhandenen Widerständen kennt, welche ohne das Gewicht eines Schwengels beim Auf- und Niedergange des Kolbens bestehen, und den Hebelarm

Diamant, grün	3,523
„ orange	3,550
„ rosenroth	3,531
Eisen (Octaed.), gediegen . . .	7,768
„ guß	7,207
„ geschmiedet	7,788
„ phosphorid	6,700
„ Roheisen	7,251
Eisenocher	2,950
Gagath	1,259
Gerste	1,278
Glas, böhm. Bouteillenglas . .	2,732
„ aus Glaubersalz . . .	2,545
„ aus Borax	2,600
„ Fenster	2,642
„ Krystall	2,892
„ gemeiner Flaschen . . .	2,760
„ französisches weißes . . .	2,892
„ Spiegelglas von St. Gobain .	2,370
„ „ von Neuhaus . . .	2,560
„ „ englisches	2,450
Flintglas, englisches . . .	3,329
„ deutsches von Körner .	3,341
„ Frauenhofer . . .	3,779
Glanzkohle	1,482
Gold, reines, gehämmert . . .	19,362
„ geschmolzen	19,258
„ gemünzt in holländ. Ducaten .	19,352
„ „ in östr. Ducaten . .	18,852
„ „ in engl. Guineen . .	17,629
„ „ in franz. Geld . . .	17,553
Granat (Dodek), gemein, braun . .	3,769
„ edler aus Tyrol . . .	4,098
Granit, grau	2,728
„ grün aus Dauphine . . .	2,683
Gußstahl	7,919

Holz, Ahorn, frisch	0,904
= getrocknet . . .	0,659
Apfelbaum	0,733
Birke, frisch	0,9012
= getrocknet . . .	0,6274
Birnbaum	0,9012
Brasilienholz	1,132
Buchen, Splint } . . .	
= trocken } . . .	0,982
= frisch	0,591
= Stamm frisch . .	0,9476
= = trocken . .	0,5474
Buxbaum	1,33
Campeschen	0,913
Cypressen	0,644
Ebenholz	1,226
Edeltanne, frisch . . .	0,8941
= getrocknet . .	0,555
Eichen, vom Kern bis 60 Jahre alt	1,170
Erle, frisch	0,8571
= trocken	0,5001
Esche, frisch	0,9036
= trocken	0,6440
= Zweige, frisch . .	0,734
= = trocken . .	0,580
Espe, frisch	0,7654
= getrocknet . . .	0,4302
Hainbuche, frisch . . .	0,9452
= getrocknet . .	0,7695
Königsholz	1,069
Kork	0,240
Kiefer, frisch	0,912
= getrocknet . . .	0,5501
Lerche, frisch	0,9206
= getrocknet . . .	0,4735
Linden, frisch	0,817

Holz, Linden, getrocknet	0,4390
Mahagony	1,06
Nußbaum	0,677
Pappel, gemeine	0,383
= spanische, weiß	0,529
= italienisch, frisch	0,7634
= = getrocknet	0,3931
Pflaumenbaum	0,785
Pomeranzenbaum	0,705
Roßkastanie, frisch	0,8614
= getrocknet	0,5749
Rothtanne, frisch	0,8699
= getrocknet	0,4710
Saalweide, frisch	0,7155
= getrocknet	0,5289
Schwarzpappel, frisch	0,7795
= getrocknet	0,3656
Sommereiche vom Kern	0,618
= frisch	0,695
= trocken	0,720 0,795
= vom Splint, frisch	0,610
= vom Stamme, frisch	0,845 0,850
= Wurzel, frisch	0,880
= Zweige, frisch	0,698 0,780
Steineiche	0,9 1,1
Stieleiche, frisch	1,0494
= getrocknet	0,6777
Traubeneiche, frisch	1,0754
= getrocknet	0,7075
Taxus	0,807
Ulme, frisch	0,9476
= getrocknet	0,5474

Holz, Weide, weiße, frisch . . .	0,9859
= getrocknet . . .	0,4873
Jaspis, ägyptischer	2,8160
= blutrother	2,6277
= grauer	2,764
= grüner	2,6274
= wolkiger	2,7354
Kali, arseniksaures	1,8
= chromsaures	2,612
= kohlensaures	1,4594
= salpetersaures	1,98
= salzsaures	1,8365
= schwefelsaures	2,636
= saures, weinsteinsaures . .	1,9
Kalk, ätzender	1,842
= essigsaurer	1,005
= krystallisirter, kohlensaurer . .	2,7182
= = schwefelsaurer .	3,3117
Kalkstein, (rhomb. Kalkhaloid) . .	2,721
= blättrig	2,710 2,837
= fest	1,386 2,720
= sandig	2,742
Kanonengut	8,441 9,235
Kieselerde	2,743
Knochen (Ochsen)	1,656
Kobalt, gegossen	7,811
Kochsalz (hex. Steinsalz) . . .	2,257
Kohlen aus Eichenholz . . .	1,573
= aus Pappelholz . . .	0,1237 0,1874
= aus Tannenholz . . .	0,6
Steinkohlen (destillirt) . . .	1,865

Kreide	2,797 2,657
Kupfer, gegossen	8,788
„ gehämmert	8,878
„ Draht	8,879 8,78
Kupferkies (Pyramid)	6,169
Kupfervitriol aus Böhmen	6,607
„ „ Sachsen	6,648
Kupferzinn	
Kupfer 1 Th. Zinn 1 Th.	8,468 8,790
„ 3 „ „ 1 „	8,879
„ 4 „ „ 1 „	8,723
„ 6 „ „ 1 „	8,707
„ 6,25 „ „ 1 „	8,88
„ 8 „ „ 1 „	8,392
„ 10 „ „ 1 „	8,351
„ 1 „ „ 3 „	7,843
„ 1 „ „ 10 „	7,472
Magnet-Eisenstein (Octaed. Eisenerz)	4,8 5,2
Mangan	8,0301 8,013
Marmor, carrarischer	2,717
„ französischer	2,649
„ florentinischer, gelb	2,516
„ norwegischer	2,728
„ von Paros	2,838
„ Schweizer	2,714
Meerschaum	1,6
Mennig	8,94
Messing	7,6 8,8
Opal (untheilb. Quarz)	1,7 2,118

Perlen	2,75
Phosphor	1,77
Platina, gediegen	17,332
= in Naturkörnern . . .	17,200
= gereinigt	19,5
= geschmolzen	20,857
= geschmiedet	20,337
= gewalzt	22,069
Platina, Draht	21,042
= gemünzt	21,012 22,1
Porzelain, Berliner	2,293
= chinesisches . . .	2,385
= französisches von Sèvres .	2,146
= sächsisches	2,493
= Wiener, feinstes . .	2,209 2,387
Porphyr, rother	2,871
Quarz (rhomboed)	2,64 2,67 2,69 2,654
Raseneisenstein	2,608
Reißblei	1,987 2,089
Rotheisenstein (rhomb. Eisenerz) . .	5,251
Rothkupfererz (octaedrisch) . . .	5,992
Rothspießglanzerz (prism. Purpurblende)	4,5 4,6
Rubin (orientalischer)	4,283
Salmiak	1,42 1,453
= natürlicher	1,528
Salpeter	1,93
Sandstein zum Pflaster . . .	2,416
= von Bristol	2,51

Sandstein von St. Cloud	2,201
Saphir, brasilianischer	3,131
„ orientalischer	3,994
Schießpulver, gehäuft	0,836
„ geschüttelt . . .	0,932
„ gestampft	1,745
Schwarzkohle (harzige Steinkohle) .	1,271
Schwefel, natürlicher	1,9 2,033 3,6
Schwefelkies (hexaedr.) . . .	4,9 5,05
Serpentin	2,684 2,507 2,560
Silber, gegossen	10,474
„ gehämmert	10,511
„ Sterling oder engl. Probesilber	10,2
„ in Zwanzigkreuzern . .	9,217 10,106
Smaragd	7,776
Spathe, Feldspath	2,5 2,564 2,8
Kalkspath	2,723
Schwerspath, blaßgelb vom Harz .	4,426
Stahl, gehämmert	7,84
„ gehärtet im Wasser . . .	7,816
„ gehämmert und gehärtet im Wasser	7,818
„ weicher	7,833
Stangenkohle (harzlose Steinkohle) .	1,4
Thon	2,68 1,8
Topas, orientalischer	4,011
„ sächsischer	3,564
Turmalin, grüner	3,156

Vitriol, Eisenvitriol natürl.	1,832
„ Danziger	1,715
„ englischer	1,839 1,88
„ Kupfervitriol	2,194 2,23
„ Zinkvitriol, natürl.	2,036
Weizen	1,346
Wismuth	9,756 9,822
Zink, geschmolzen	6,861
„ zusammengepreßt	7,191
„ gegossen	5,190
Zinn, möglichst rein	7,291
„ aus Böhmen, gegossen	7,312
„ aus England, gegossen	7,291
Zinnblei,	
1 Th. Zinn, 1 Th. Blei	8,864
2 „ „ 1 „ „	8,267
3 „ „ 1 „ „	7,994
1 „ „ 2 „ „	9,55
3 „ „ 2 „ „	8,497
5 „ „ 2 „ „	8,109
1 „ „ 3 „ „	9,939
2 „ „ 3 „ „	9,265
1 „ „ 4 „ „	10,183
2 „ „ 5 „ „	9,77
2 „ „ 7 „ „	10,073
Zinnober (Rubinblende)	8,098
„ dunkelroth	7,786
Zucker, weiß	1,607.

II. Flüssige Körper.

a) Tropfbar flüssige Körper.

Alkohol, absoluter bei 20° Celsius	.	0,792
Bier, braun	.	1,039
" weiß	.	1,023
Blut des Menschen . . .	.	1,054
Kalilauge mit 100 Theilen Kali .	.	2,4
84 " " .	.	2,2
72,7 " " .	.	2
63,6 " " .	.	1,88
56,8 " " .	.	1,78
51,2 " " .	.	1,68
46,7 " " .	.	1,6
42,9 " " .	.	1,52
39,6 " " .	.	1,47
36,8 " " .	.	1,44
34,4 " " .	.	1,42
32,4 " " .	.	1,39
29,4 " " .	.	1,36
26,3 " " .	.	1,33
23,4 " " .	.	1,28
19,5 " " .	.	1,23
16,2 " " .	.	1,19
13 " " .	.	1,15
9,5 " " .	.	1,11
4,7 " " .	.	1,06
Milch von Kühen . . .	.	1,032
" " Schafen . . .	.	1,041
" " Ziegen . . .	.	1,034
Naphta	.	0,848
Oele, Fenchel	.	0,929
" Fenchelsaamen . . .	.	1,008
" Kümmel	.	0,975

Oele, Lavendel	0,948
„ Leinsaamen	{0,928 0,953
„ Mais	0,954
„ Mohn	0,929
„ Nuß	0,947
„ Oliven	0,915
„ „ grüne	0,914
„ „ gelbe	0,922
„ „ weiße	0,928
„ Pfeffermünze	0,955
„ Rosen bis 32,5° Reaum . .	0,832
„ Terpentin	{0,873 0,87
„ Wachholder	{0,911 0,858
„ Wallnüsse	0,928
Säure:	
Essigsäure, concentrirteste . .	1,063
Salpetersäure, ditto . .	1,58
„ vollkommen weiß, concentrirt . . .	1,48
Salzsäure	1,194
Schwefelsäure, concentrirteste .	2,125
Schwefelsäure, wie sie im Handel als Vitriolöl vorkommt .	1,86
„ englische . . .	1,848
Soole von Kochsalz bis 15° Reaum.	
0,71 Salz .	1,005
1,42 „ .	1,010
2,11 „ .	1,015
2,82 „ .	1,020
3,52 „ .	1,025
4,21 „ .	1,030
4,91 „ .	1,035
5,60 „ .	1,040

Soole von Kochsalz bis 15° Reaum.			
	6,28	Salz	1,045
	6,97	=	1,050
	7,65	=	1,055
	8,38	=	1,060
	9,01	=	1,065
	9,68	=	1,070
	10,35	=	1,075
	11,02	=	1,080
	11,69	=	1,085
	12,35	=	1 090
	13,02	=	1,095
	13,67	=	1,100
	14,33	=	1,105
	14,99	=	1,110
	15,64	=	1,115
	16,29	=	1,120
	16,94	=	1,125
	17,59	=	1,130
	18,23	=	1,135
	18,88	=	1,140
	19,52	=	1,145
	20,15	=	1,150
	20,79	=	1,155
	21,43	=	1,160
	22,06	=	1,165
	22,69	=	1,170
	23,32	=	1,175
	23,95	=	1,180
	24,57	=	1,185
	25,19	=	1,190
	25,82	=	1,195
	26,44	=	1,200
	27,05	=	2,205
Wasser, rein destillirt			1,00
Wein, Bordeaux			0,994

Wein, Burgunder	0,992
„ Champagner	0,998
„ Malaga	1,022
„ Mosler	0,916
„ Rhein	0,999
„ Tokayer	1,054

b) Elastisch flüssige Körper.

Das Gewicht der trockenen atmosphärischen Luft bei der Temperatur des schmelzenden Eises und bei einem Barometerstand von 28 Pariser Zollen = 1 angenommen. Dasselbe ist = $\frac{1}{779}$ desjenigen des destillirten Wassers.

Ammoniac-Gas	0,597
Atmosphärische Luft	1
Chlorgas	2,47
Kohlensaures Gas	1,525
Kohlenwasserstoffgas, dichtestes . .	0,982
„ von geringster Dichtigkeit .	0,56
„ aus Steinkohlen . . .	0,3 0,654
Salpetergas	1,039
Sauerstoffgas	1,104
Schwefelwasserstoffgas	1,191
Stickgas	0,976
Wasserstoffgas	0,069.

